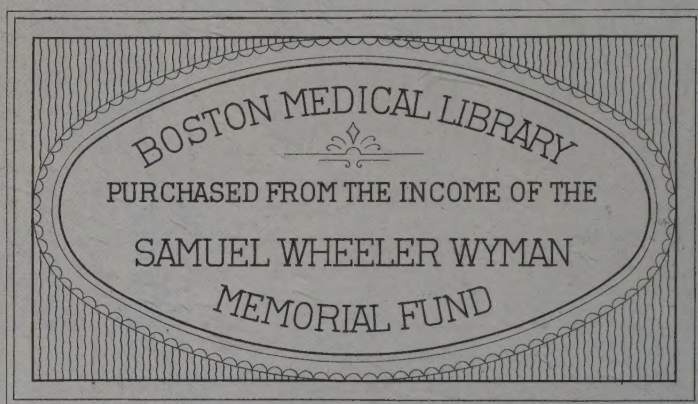


HC 51FW 5

Walter Koch

Der funktionelle Bau des
menschlichen Herzens

12, 9 Pth



OTTO ENSLIN
HANDLUNG FÜR MEDIZIN
BERLIN N.W. 6
REISTRASSE 31

Der funktionelle Bau des menschlichen Herzens

Von

Dr. Walter Koch

Privatdozent an der Universität Berlin

Mit 46 Abbildungen im Text, 2 farbigen und 13 schwarzen Tafeln

Urban & Schwarzenberg

Berlin
N, Friedrichstraße 105 B.

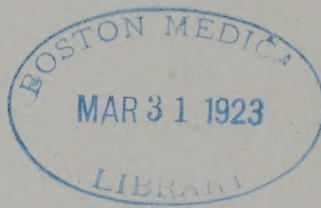
1922.

Wien
I, Mahlerstraße 4.

20592 Hy

Alle Rechte, gleichfalls das Recht der Übersetzung in die russische Sprache
vorbehalten.

15. B. 6.



Meinem Freunde

Felix Schoeller, Burg Gretesch

gewidmet.

Vorwort.

Die nachfolgenden Ausführungen bilden einen gewissen Abschluß von Untersuchungen, welche ich auf Anregung meines verehrten Lehrers, Geheimrats *Aschoff*, im Freiburger Institut begonnen und in vielfacher Aussprache mit ihm durchgeführt habe. Die Arbeiten waren im wesentlichen vor dem Kriege, zur Zeit, als die *Tandlersche* Monographie erschien, abgeschlossen. Sie bedurften dann aber einer Ergänzung und Umarbeitung, weil die Obduktionen des Krieges wertvolles Material darboten, welches ältere Anschauungen bestätigen, Unsicheres festlegen und Neues hinzufügen konnte.

Das Erscheinen des Buches ist naturgemäß durch den Krieg und die Verhältnisse der Nachkriegszeit verzögert worden.

Die der Arbeit beigelegten Abbildungen sind, soweit sie nicht, wie im Anhang, zum Teil anderen Werken entstammen, nach eigenen Präparaten, die sich in der Anatomischen Sammlung der Kaiser-Wilhelms-Akademie, Berlin, befinden, von Herrn Präparator *Wilhelm Lehmann* und Frau Dr. *Rotzoll* gezeichnet worden. Die makroskopische Präparation der spezifischen Muskelsysteme erläuternden Präparate verdanke ich Herrn Priv.-Doz. Doktor *Jarisch*, Graz, einem Schüler *Holls*. Schließlich erwähne ich noch mit besonderer Genugtuung, daß die im Anhang wiedergegebenen mikroskopischen Schnitte der vergleichenden Anatomie der spezifischen Muskelsysteme nach mikroskopischen Präparaten angefertigt wurden, welche mir Herr Dr. *Ivy*, *Mackenzie*, Glasgow, freundlichst zur Verfügung stellte. Die direkte und indirekte Mitarbeit der vorgenannten Persönlichkeiten hat mir meine gewählte Aufgabe ganz besonders erleichtert und ich danke ihnen an dieser Stelle für ihre freundliche Hilfe.

Wenn im übrigen das Buch auch nur einen kleinen Fortschritt in der Erkenntnis des Herzbaues bedeutet und dem Kliniker wie dem Physiologen zu Hilfe kommen könnte, würde seine Aufgabe erfüllt sein, die im wesentlichen darin bestehen soll, die vorzüglichen Arbeiten früherer Forscher zu würdigen und mit dem in Zusammenhang zu bringen, was mir auf Grund meiner eigenen Untersuchungen zur Ergänzung des Bildes mitteilenswert erschien.

Walter Koch.

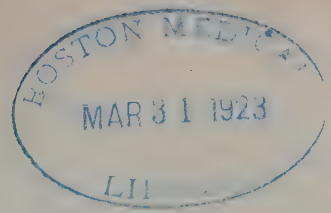
Berlin, Juni 1922.

Inhalt.

	Seite
I. Anatomische Beschreibung des Herzens	1
II. Der Muskelverlauf des Herzens	23
III. Funktioneller Bau des Herzens. Systolisches und diastolisches Herz	36
IV. Funktioneller Bau der Herzmuskulatur	72
V. Der Sinusknoten	85
VI. Das Reizleitungssystem	92
VII. Beziehungen der specifischen Muskelsysteme zum Bau des Herzens	102

Anhang.

VIII. Entwicklungsgeschichte des Herzens und der specifischen Muskelsysteme:	
Entwicklungsgeschichte des Herzens	113
Entwicklungsgeschichte der specifischen Muskelsysteme	120
IX. Vergleichende Anatomie des Herzens und der specifischen Muskelsysteme:	
Vergleichende Anatomie des Herzens	128
Vergleichende Anatomie der specifischen Muskelsysteme des Herzens	132



I. Anatomische Beschreibung des Herzens.

Es erscheint vielleicht gewagt, die Anatomie des Herzens einer neuerlichen eingehenden Besprechung zu unterziehen, wenn man die ausführlichen Beschreibungen, die dem von jeher die Ärzteswelt interessierenden Organ gewidmet sind, berücksichtigt. Die Abhandlungen von *Henle*, *Winkler*, *Ludwig*, *Albrecht*, *Krehl*, *Romberg*, *Keith*, *Aschoff* und *Tawara*, die eigenartigen Untersuchungsergebnisse von *Mac Callum* und *Mall*, die revolutionierend auf unsere Anschauung über den Bau des Herzmuskels eingewirkt haben, und die jüngste erschöpfende Monographie von *Tandler* geben uns einerseits in Fülle alles Wissenswerte. Andererseits zeigt aber der Vergleich ihrer Ergebnisse, wie prinzipielle Streitfragen nach wie vor strittig bleiben und wie insonderheit die Frage über den Muskelverlauf des Herzens in bezug auf Präparation der Muskellamellen zwar weitgehend gefördert, wie aber trotzdem eine einheitliche Auffassung über die Anordnung der Herzmuskulatur nicht zu stande gekommen ist.

Es ist aber in vorliegender Abhandlung neben der rein anatomischen Beschreibung größerer Wert auf die funktionelle Bedeutung des Herzbau, wie sie von *Krehl* in noch nicht widerlegter Form inauguriert wurde, und auf die Beziehung desselben zu den spezifischen Muskelsystemen gelegt worden. Es sollen damit dem Kliniker und Physiologen Anhaltspunkte für das Verständnis ihrer zu lösenden Aufgaben zu geben versucht werden. Die Deutung des Elektrokardiogramms, die Frage der relativen Unabhängigkeit bzw. Selbständigkeit beider Kammern, die Beziehungen der spezifischen Muskelsysteme zum Klappenapparat des Herzens, die entwicklungsgeschichtliche Bewertung der einzelnen Herzabschnitte, die Trennung des Herzschlauches an der Atrioventrikularfurche und viele andere Fragen bedürfen weiterer Klärung und benötigen dazu einer einheitlichen anatomischen Grundanschauung über den Aufbau des Herzens. Dazu sollen die folgenden Ausführungen, die nur eine Ergänzung all der wertvollen früheren Beschreibungen darstellen können, anregen und vielleicht auch eine kleine Hilfe bieten.

Der Vollständigkeit halber sind die entwicklungsgeschichtlichen und vergleichend anatomischen bisher bekannten Tatsachen im Anhang beigegeben.

Das Herz liegt, eingebettet zwischen die Lungen, vor der Wirbelsäule und auf der Zwerchfellkuppe, wobei es von der strikten Medianlage beträcht-

lich abweicht. Senkrecht auf die vordere Thoraxwand projiziert, reicht die obere Grenze des Aortenbogens etwa bis in die Höhe des oberen Randes der 2. Rippe, der untere, vom rechten Ventrikel gebildete Herzrand, für gewöhnlich nicht über den Processus xiphoideus hinausragend, verläuft in der Medio-clavicularlinie durch den 5. Zwischenrippenraum linkerseits. Die rechte äußerste Herzgrenze, vom rechten Vorhof gebildet, liegt, je nach Größe und Körpergewicht des Individuums, 3·5—4·5 cm rechts von der Mittellinie des Brustbeins; die mit der Herzspitze des linken Ventrikels zusammenfallende äußerste, linksseitige Herzausdehnung 8·5—9·5 cm links von der Mittellinie, u. zw. für gewöhnlich einwärts der Brustwarzenlinie. Der Ausdehnung des Herzens von oben nach unten entspricht rückwärts etwa der Abstand vom 3. bis 5. bzw. 6. Brustwirbelkörper.

Von umgebenden Organen ist das Herz in seinem Herzbeutel vorwiegend von den Lungen bzw. den Pleurasäcken begrenzt, wobei sich die vorderen Lungenränder dergestalt zwischen Herz und vordere Brustwand einschieben, daß sie sich in Höhe der 2. bis 4. Rippe vor dem Herzen bis auf 1 bis 2 Querfingerbreite nähern. Während nun der rechte Lungenrand in gleicher Richtung hinter dem Corpus sterni bis etwa zum Ansatz des 6. Rippenknorpels abwärts zieht, um hier, dem Verlaufe dieser Rippe folgend, in den unteren Lungenrand auszulaufen, biegt der linke vordere Lungenrand am Ansatz des 4. linken Rippenknorpels fast rechtwinkelig nach links ab, wendet sich etwas außerhalb der linken Parasternallinie nach abwärts, um am Rippenknorpel der 6. Rippe ebenfalls in den unteren Lungenrand überzugehen. Dadurch bleibt ein Teil des rechten Ventrikels von Lunge unbedeckt, u. zw. im Bereiche der linken Hälfte des unteren Brustbeinendes vom 4. Zwischenrippenraum abwärts, sowie innerhalb der Rippenknorpel der 4. bis 7. Rippe bis etwa zur Parasternallinie links oder etwas über dieselbe hinausragend.

Nach unten hin liegt das Herz auf dem Planum cardiacum des Zwerchfells, u. zw. auf dem vorderen Abschnitt, entsprechend der Mitte der Pars tendinea und dem vor ihr gelegenen muskulösen Anteile, der linkerseits natürlich reicher in Anspruch genommen wird als rechts. Dadurch kommt das Herz mit den benachbarten Organen der Bauchhöhle in Beziehung, hauptsächlich mit dem linken Leberlappen, aber auch noch, im Bereiche der Herzspitze, mit dem Magen.

An der Hinterseite des Herzens verlaufen die beiden Hauptbronchien mit den Lymphdrüsen der Bifurkation hinter dem oberen Rande des linken Vorhofes, ferner der Oesophagus, welcher der hinteren linken Vorhofswand anliegt. Hinter der rechten Kante des Oesophagus verläuft der rechte Nervus vagus, zwischen Oesophagus und Wirbelsäule die Vena azygos; die Aorta descendens mit dem linken Nervus vagus liegt weiter zurück linkerseits von der Wirbelsäule.

Infolge der schrägen Lage des Herzens im Brustraum sind die Entfernungen der einzelnen Herzabschnitte von der vorderen Brustwand, von wo

aus die übliche physikalische Untersuchung erfolgt, sehr verschieden, und außerdem ist es vorwiegend das rechte Herz, welches der vorderen Brustwand zugekehrt ist. Denkt man sich die Verbindungslinie von der Pars membranacea septi zur Herzspitze als Herzachse, so verläuft dieselbe von rechts hinten oben nach links vorn unten; ferner ist das Herz um diese Achse nach links hinten gedreht, so daß die rechte (schärfere) Herzkante mehr nach vorn, die linke stumpfe Kante mehr nach hinten gekehrt ist.

Bei Projektion der einzelnen Herzhöhlen und Gefäße auf die vordere Brustwand erhält man daher folgende Begrenzungen des Herzbildes: Rechts oben vom 2. bis 3. Rippenknorpel die Vena cava sup., daran anschließend bis zum 6. Rippenknorpel den rechten Vorhof, von hier fast horizontal über den Ansatz des rechten 7. Rippenknorpels nach links bis zum 6. Rippenknorpel in der Parasternallinie den rechten Ventrikel, dem sich ein schmaler Streifen des linken Ventrikels als hauptsächlichste linke Herzbegrenzung anlagert. Links oberhalb des linken Ventrikels folgen dann noch in kleinen bogenförmigen Begrenzungen von unten nach oben das linke Herzohr, die Arteria pulmonalis und der Aortenbogen.

Auf diese Weise finden wir rechterseits der Mediosternallinie nur die Vena cava superior, den rechten Vorhof und einen kleinen Abschnitt des rechten Ventrikels sowie der aufsteigenden Aorta, während alles übrige, einschließlich der Spitze des rechten Herzohrs links von der Mitte des Sternums gelegen ist, was etwa $\frac{2}{3}$ der gesamten Herzmasse ausmacht. Der Teil des Herzens, welcher entsprechend der Incisura cardiaca der linken Lunge von Brusteingeweiden unbedeckt der vorderen Brustwand anliegt, gehört ausschließlich dem rechten Ventrikel an. Die eigentliche Herzspitze liegt im 5. Zwischenrippenraum einwärts der Brustwarzenlinie, u. zw. hinter der Lingula der linken Lunge. Von hier aus zieht sich (immer auf die vordere Thoraxwand projiziert gedacht) der linke Ventrikel als schmaler Streifen zum 3. Rippenknorpel nahe dem Sternum, wo sich das linke Herzohr anschließt, während der eigentliche linke Vorhof völlig hinten liegt. Die Aortenwurzel ist in Höhe des 2. bis 3. Rippenknorpels hinter der Mitte des Brustbeins, die Pulmonaliswurzel links daneben am Ansatz des 3. Rippenknorpels und im 2. Zwischenrippenraum, das rechte Herzohr unterhalb der Aorta zu denken.

Dementsprechend ist die Lage der Herzostien folgende (Fig. 1):

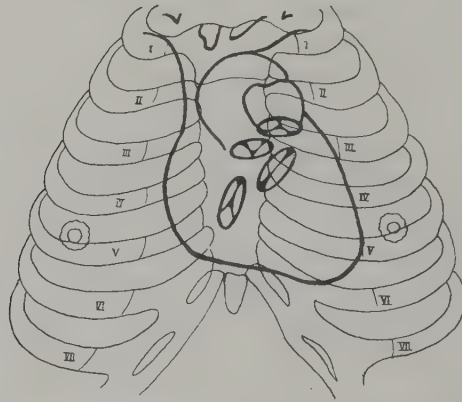
Ostium tricuspidale in der Mitte des Sternums in der Höhe des Ansatzes des 4. und 5. Rippenknorpels; Ostium mitrale am linken Sternalrande, entsprechend dem Ansatz des 4. Rippenknorpels; Ostium pulmonale am linken Sternalrand im 2. Zwischenrippenraum; Ostium aorticum in der Mitte des Sternums, entsprechend dem 3. Zwischenrippenraum.

Als Aufhängeband für das Herz dienen im allgemeinen die großen ein- und austretenden Gefäße, so die Aorta und deren große Verzweigungen, die zum Hals und den Armen gehen, ferner die Lungengefäße, welche das Herz an der Lungenwurzel befestigen. Von den Venen kommt hauptsächlich die

Vena cava inferior in Betracht, welche das Herz an die Pars tendinea des Zwerchfells bindet. Die Fixierung erfolgt aber nicht nur durch die Gefäße selbst, sondern auch durch das Perikard (an dessen Umschlagstellen an den großen Gefäßen), welches seinerseits am Zwerchfell, dem Sternum, der Fascia endothoracica und indirekt an der oberen Brustapertur befestigt ist. Um die erwähnten Fixpunkte ist das Herz im übrigen in ausgiebiger Weise verschieblich sowohl in der Richtung von oben nach unten (Zwerchfellbewegung) wie von links nach rechts (Verschiebung der Herzspitze bei linker und rechter Seitenlagerung). Außerdem ist aber das Herz auch samt seinem Aufhängeapparat, d. h. mit dem Mediastinum, seitlich verschieblich (Verlagerung bei Pneumothorax, Hydrothorax).

Die Größe des Herzens wird im allgemeinen mit der Größe der Faust des betreffenden Individuums verglichen, wobei jedoch nur das leichenstarre,

Fig. 1.

Projektion der Herzostien und der Klappen auf die vordere Brustwand. (Nach *Corning*.)

systolische Herz in Betracht kommt, da das diastolisch erschlaffte Herz, wie es in der ersten Zeit nach dem Tode angetroffen wird, weit größer ist, wie weiter unten noch gezeigt werden wird. Es bildet in seiner Form in bezug auf die die Hauptmasse ausmachenden Ventrikel einen kegelförmigen muskulösen Hohlkörper, der aus 4 Hohlräumen zusammengesetzt ist, den beiden Vorhöfen und den beiden Kammern. Denkt man sich das Herz mit seiner Längsachse vertikal aufgestellt, so trennt eine horizontale, circular verlaufende Furche, der Sulcus coronarius, die Vorhöfe (Atrien) von den Kammern (Ventrikeln). Der rechte Ventrikel ist rechterseits durch eine ziemlich scharfe Kante begrenzt, der linke Ventrikel zeigt dagegen als linke Herzgrenze eine abgerundete Kante. Beide treffen sich an der Herzspitze, welche vom linken Ventrikel gebildet wird. Die Grenze zwischen rechtem und linkem Ventrikel wird vorn von einer seichten Furche, dem Sulcus longitudinalis anterior gebildet, welche der Ansatzstelle der muskulösen Kammerscheidewand

entspricht, links neben der Arteria pulmonalis unter dem linken Herzohr aus der atrioventrikulären Grenzfurche entspringt und dicht neben der rechten Seite der Herzspitze in die korrespondierende hintere Längsfurche, den Sulcus longitudinalis posterior, übergeht, welche unterhalb der Vena cava inferior entspringt und dem hinteren Ansatz der Kammerscheidewand entspricht. Der Sulcus coronarius wendet sich unterhalb des rechten und linken Herzhohres, welche die großen Schlagadern, Arteria aorta und Arteria pulmonalis, von beiden Seiten ein kurzes Stück umgreifen, nach hinten in die Tiefe, wo sich sein rechter und linker Abschnitt hinter den großen Arterien und vor der vorderen Ansatzlinie der Vorhofsscheidewand vereinigen. An der Hinterseite des Herzens ist die Kranzfurche ganz zu übersehen.

Im Sulcus coronarius dexter verläuft die rechte Kranzarterie, welche unterhalb des rechten Herzhohres aus der Aorta, im rechten vorderen Taschen sinus, entspringt, unterhalb des rechten Vorhofes nach hinten zieht und im Sulcus longitudinalis posterior abwärts verläuft. Im linken Abschnitt der Kranzfurche liegen Stamm und Ramus circumflexus der Arteria coronaria sinistra, welche unterhalb des linken Herzhohres aus der Aorta (vordere linke Tasche) hervorkommt. An der Abgangsstelle des Ramus circumflexus biegt der Ramus descendens in die vordere Längsfurche ab, in welcher er nicht ganz bis zur Spitze verläuft.

Die Gestalt der Vorhöfe ist eine so unregelmäßige, daß sich Vergleichsobjekte nicht anführen lassen. Beide bilden sie relativ dünnwandige Säcke mit Ausbuchtungen und Fortsätzen in die einmündenden Venen, welche mit einem mehr oder weniger großen Anteil ihnen zuzurechnen sind.

Am rechten Vorhof wird der mehr trabekuläre Abschnitt der einmündenden großen Venen durch eine Furche getrennt, welche von dem Winkel, den die obere Kante des Herzhohres mit der Vena cava superior bildet, seitlich und nach hinten zur vorderen Umrandung der Vena cava inferior läuft und Sulcus terminalis oder Sulcus des Cavatrichters genannt wird.

An der medialen Seite ist der rechte Vorhof, entsprechend der Einlagerung der aufsteigenden Aorta, halbmondförmig gekrümmt, wobei das rechte Herzohr die Aortenwurzel umfaßt und mit seiner Spitze für gewöhnlich den oberen Rand des Conus pulmonalis berührt. Nach hinten grenzt der rechte Vorhof an den linken mit einer mehr oder weniger ausgeprägten, meist mit lockerem Zellgewebe ausgefüllten Furche, welche in ihrer Verlängerung nicht auf den hinteren Sulcus longitudinalis posterior der Ventrikel trifft, sondern weiter links auf den linken hinteren Schenkel des Sulcus coronarius, vom Sulcus longitudinalis posterior um die Breite der Mündung der Vena coronaria getrennt. Die in den rechten Vorhof mündenden großen Hohlvenen stehen einander nicht gerade gegenüber, sondern bilden einen stumpfen Winkel, welcher mit dem Alter die Neigung zeigt, sich noch mehr einem rechten Winkel zu nähern. Dabei ist der Verlauf der Cava superior von hinten oben nach vorn unten, der der Cava inferior von hinten unten nach vorn oben gerichtet. Der intraperikardial gelegene Abschnitt der großen einmündenden Venen ist von uns als

oberer und unterer Cavatrichter bezeichnet worden. Der durch den Sulcus terminalis an der Hinter- und Außenseite scharf abgegrenzte, medial äußerlich nicht genau zu begrenzende, mehr glatte Abschnitt des rechten Vorhofes mit den einmündenden Venen gilt als Rest des Sinus venosus, dessen Grenzen später noch näher beschrieben werden. Die größte Ausdehnung besitzt der rechte Vorhof in der Richtung von vorn nach hinten, vom Herzohr zur Cava inferior gemessen und von oben nach unten, d. h. von der Cava superior zur Appendix auricularis post. (*His*), einer Vorbuchtung der seitlichen Vorhofswand nach unten vor der Mündung der Vena cava inferior, welche von *Keith* als Sub-Eustachien-Sinus bezeichnet wird und beim Abschluß der unteren Hohlvene eine Rolle spielen soll. Den geringsten Durchmesser zeigt der rechte Vorhof von der lateralen konvexen zur medialen, konkaven Wand.

Im Innern des rechten Vorhofes kann man zwei mehr oder weniger scharf getrennte Abschnitte unterscheiden, den Cava- oder Sinusabschnitt und den eigentlichen Vorhof, welcher wieder in einen trabeculären und einen annulären Abschnitt zerfällt. Der Sinusabschnitt umfaßt, wie vorher schon gesagt, die Einmündungsgebiete der großen Venen, der Vena cava superior, Vena cava inferior und Vena coronaria. Dieser Abschnitt ist, besonders an der hinteren Circumferenz, vom Vorhofe durch eine Muskelleiste, die Crista terminalis, abgegrenzt, welche vorn unterhalb der Einmündungsstelle der Vena cava superior, am sog. Aortenwinkel (d. h. der Stelle, wo die Aortenwurzel der medialen Vorhofswand angelagert und welche meistens als Treffpunkt mehrerer Muskelzüge etwas vorgebuckelt ist) mit einer kräftigen Wurzel entspringt, nach hinten die Kuppe des Vorhofes entlang läuft, wobei sie eine leichte Einbiegung nach medial zum linken Vorhof macht und weiter zur vorderen unteren Umrandung der Vena cava inferior zieht, wo sie in die Valvula Eustachii und Valvula Thebesii ausläuft. Dieser Muskelleiste entspricht außen am Vorhof der Sulcus terminalis, welcher am hinteren Rande dieser Leiste entlang zieht. Gleichzeitig gibt die Crista die ursprüngliche Lage der rechten Sinusklappe an, als deren unterer Rest, wie im entwicklungsgeschichtlichen Teil beschrieben, die Valvula Eustachii und Valvula Thebesii anzusehen sind. Die der linken Sinusklappe entsprechende vordere Grenze des Sinusabschnittes ist meistens nicht so scharf ausgeprägt. Sie entspricht im groben der (hauptsächlich hinteren unteren) Umrandung der Fossa ovalis; sie beginnt ebenfalls am Aortenwinkel, umkreist halbmondförmig die Fossa ovalis und läuft in den vereinigten Sporn der Valvula Eustachii und Valvula Thebesii aus, wobei die Fossa ovalis ziemlich vollständig eingekreist wird, da sich die Enden der ursprünglich oberen und unteren Sinusklappenwinkel am Aortenwinkel stark einander nähern.

Durch die winkelige Stellung der Einflußbahnen der beiden großen Hohladern bildet sich zwischen ihnen an der Hinterwand des Sinusabschnittes eine mehr oder weniger deutliche stumpfkantige Vorwölbung oberhalb der Fossa ovalis, das sog. Tuberculum Loweri.

Zu dem Sinusabschnitt hinzuzurechnen ist noch das Einmündungsgebiet der Vena coronaria. Dasselbe liegt vor und unterhalb der Vena cava inferior; es wird nach hinten durch die Valvula Thebesii begrenzt, welche mit ihrem unteren Rande oberhalb des Ansatzes der Tricuspidalis ohne scharfe Grenze in den annulären Vorhofsabschnitt ausläuft. Nach oben ist die Vena coronaria durch eine mehr weniger vorspringende Falte, welche sich aus den zusammenstoßenden Enden der Valvula Eustachii und Valvula Thebesii bildet, begrenzt. Diese Falte entspricht der Lage des Sinusseptums, welches entwicklungs-geschichtlich die Mündung der Coronarvene, d. h. des Sinusquerstückes, von den einmündenden großen Körpervenen, der Vena cava superior (Ductus Cuvieri dexter) und Vena cava inferior (Lebervenen) abtrennt. Wenn man diese Falte anspannt, kann man über die mediale Vorhofswand häufig einen grauweißen Streifen als Fortsetzung der Falte bis an die Pars membranacea verfolgen, den sog. Sinusstreifen, welcher den medialen, nicht trabeculären Vorhofsabschnitt in einen oberen septalen und einen unteren annulären Abschnitt teilt (s. Tafel X, Fig. 1 und Tafel XIII). Der Sinusstreifen entspricht zum Teil dem, wie *Tandler* neuerdings hervorhebt, schon von *Todaro* erwähnten Bindegewebszug, der sog. *Todaroschen* Sehne, welche von *Orsos-Pécs* neuerdings wieder beschrieben ist. Die beiden Gebilde decken sich aber nicht ganz, da die in der Nähe der Klappen subendokardial gelegene *Todaro*-Sehne sich distal in die Muskulatur einsenkt und in der Richtung zum Aortenwinkel verläuft, während der in seinem distalen Ende mehr oder weniger künstlich zur Darstellung gebrachte Sinusstreifen eine Endokardfalte darstellt, welche im Bogen abwärts zur Pars membranacea zieht.

Die septale Vorhofswand enthält in ihrem hinteren Abschnitt die Fossa ovalis, welche eigentlich noch im Bereiche des Sinusabschnittes, u. zw. an der medialen Wand der Einflußbahn der Vena cava inferior gelegen, aber dem Sinusabschnitt nicht zuzurechnen ist. Die Fossa ovalis bildet eine schwache Vertiefung in der Vorhofscheidewand und wird hinten und oben durch einen mehr wulstigen, muskulösen Rand umgrenzt, welcher als *Limbus Vieusseni* bezeichnet wird. Die membranöse Wand, welche den Grund der Fossa ovalis auskleidet, enthält für gewöhnlich spärliche Züge von Muskulatur. In vielen Fällen besteht eine Kommunikation zwischen rechtem und linkem Vorhof, auch noch im Herzen des Erwachsenen, indem man von hinten unten nach vorn oben eine Sonde hinter dem vorderen Rand der Fossa ovalis in schräger Richtung durchführen kann; doch werden dadurch funktionelle Störungen kaum bedingt, wie sie das weit offen gebliebene, als Mißbildung zu betrachtende Foramen ovale hervorrufen kann.

Der annuläre Vorhofsabschnitt, welcher vom Sinusstreifen, der Valvula Thebesii, der Ansatzlinie der Tricuspidalis und der Pars membranacea septi umgrenzt wird, stellt ein etwa dreieckiges Feld dar am unteren Ende des Vorhofsseptums als Vorhofsboden an der medialen und hinteren Umrahmung des Ostium atrioventriculare. Er ist insofern von Bedeutung, als in ihm der Anfangsteil des Reizleitungssystems, der Vorhofs- und Kammerknoten

(*Aschoff-Tawarascher* Knoten) gelegen ist, von welchem sich der Stamm, das *Hissche* Bündel, an der Stelle abgrenzt, wo Sinusstreifen, Pars membranacea und Tricuspidalansatz zusammentreffen (s. Tafel X, Fig. 1 und Tafel XIII).

Den weitaus größten Teil des Vorhofes nimmt der sog. trabeculäre Abschnitt mit dem Herzohr ein. Er bildet vorwiegend die gewölbte seitliche Wand des Herzens zwischen Crista terminalis und Atrioventricularfurche, wobei das Herzohr vorn, medial und oben dem trabeculären Abschnitt angelagert ist und an seiner Außenwand ohne scharfe Grenze in denselben übergeht. An seiner Hinterwand, welche der Aorta angelagert ist, wird das Herzohr gegen die mediale Vorhofswand durch die Wurzel der Crista terminalis und den annulären Muskelring, welcher die Atrioventricularöffnung umgibt, in gewissem Sinne abgegrenzt. Das rechte Herzohr selbst wird in seinem spitzen Ende von vielen feinen, in dem dem Vorhof zugekehrten Anfangsteil von größeren Trabekeln durchzogen. Die trabeculäre Außenwand des rechten Vorhofes ist zwischen den Kammuskeln, *Musculi pectinati*, welche die Hauptmasse der Wand darstellen, außerordentlich dünn und besteht zum Teil nur aus Perikard, Endokard und wenig lockerem Zellgewebe. Der nach hinten unten seitlich von der Cava inferior vorgewölbte Buckel der trabeculären Vorhofswand wurde als *Appendix auricularis post. (His)* bzw. als *Sub-Eustachien-Sinus (Keith)* schon erwähnt.

Der linke Vorhof ist für gewöhnlich kleiner als der rechte, wenn man diesem den Sinusabschnitt mit den einmündenden Venen hinzurechnet. Er stellt einen walzenförmigen Sack dar, an welchem hinten oben links und rechts die Eintrittsstellen der Lungenvenen aufsitzen. Bei der natürlichen Einstellung des Herzens liegt er mit seinem hinteren rechten Ende hinter dem rechten Vorhof zwischen Vena cava superior und inferior. Die größte Ausdehnung besitzt der linke Vorhof in der Richtung von der rechten Lungenvene zum Herzohr. Die Höhe und Tiefe des Vorhofes (von oben nach unten und von vorn nach hinten gemessen) sind etwas kürzer als der vorerwähnte Durchmesser und untereinander ziemlich gleich. Nach vorn und medial geht der Vorhof mit einer halsartigen Verengung in das linke Herzohr über, welches sehr viel kleiner als das rechte ist, eine spatenförmige Gestalt hat und über den Sulcus coronarius herabhängt, wobei es den Conus pulmonalis erreicht. Die linke Lungenvene tritt in den linken Vorhof hinten und oberhalb des linken Herzohres; sie liegt meist etwas weiter nach vorn als die rechte, welche zwischen Vena cava superior und inferior (dem Tuberculum Loweri entsprechend) zum Vorhof zieht. Die oberen und unteren Äste der beiden Lungenvenen münden für gewöhnlich getrennt, aber dicht zusammenliegend in den Vorhof ein. Jedenfalls ist ihr gemeinsames Mündungsstück meistens nur sehr kurz. Die zwischen rechter und linker Lungenvene bisweilen sich ausprägende seichte Vertiefung entspricht der Anlagerung des Oesophagus an den linken Vorhof. Das Innere des linken Vorhofes ist im Gegensatz zum rechten Vorhof fast durchweg glatt, vor allen Dingen im Bereiche des Daches dort, wo die Lungenvenen einmünden, welcher Abschnitt von *Keith* als *Vestibulum* bezeichnet worden ist.

Die vordere und hintere Wand (beim vertikal gestellten Herzen) sind verhältnismäßig schmal und muskulös, ebenso wie die Außenwand; sie zeigen, entsprechend den Muskelzügen, vereinzelte faltige Endokarderhebungen. An der medialen Vorhofswand liegt, der Einmündungsstelle der Vena cava inferior in den rechten Vorhof benachbart, die Pars membranacea septi atriorum, welche der Fossa ovalis des rechten Vorhofes entspricht. Die membranöse Wand liegt dabei der Fossa wie eine Klappe auf, deren vorderer, ziemlich scharfer Rand nach dem Herzohr oder noch mehr nach oben sieht, meistens mit der muskulösen Vorhofswand verwachsen, aber, wie erwähnt, auch oftmals nur angelagert ist, so daß man eine Sonde von vorn oben nach hinten unten hindurchführen kann. An der Grenze von medialer und vorderer Vorhofswand, dicht am Sulcus coronarius führt ein rundes, etwa für Kleinfinger durchgängiges Loch in das linke Herzohr, welches fast rechtwinkelig vom Vorhof abgelenkt ist und sich hinter der Eintrittsöffnung wieder etwas verbreitert, aber dafür flacher wird.

Der rechte Ventrikel ist von dreieckiger Gestalt, die Spitze des Dreiecks gegen die Herzspitze gerichtet gedacht. Die sternale vordere Wand ist gewölbt und stellt die größte Wandfläche des rechten Ventrikels dar. Die hintere bzw. untere (diaphragmale) Wand ist flacher und sehr viel kleiner. Die mediale Wand ist ebenfalls gewölbt, u. zw. nach dem Innern des Ventrikels zu. Die Basis des Dreiecks ist eine doppelte, eine venöse, mehr hinten gelegene größere und eine arterielle vorn und medial höher gelegene, entsprechend dem venösen und arteriellen Ostium des rechten Ventrikels. Beide sind durch einen tiefen, muldenförmigen Einschnitt voneinander getrennt. Der medial von dieser Einkerbung gelegene kegelförmige, bis über den Sulcus coronarius reichende muskulöse Abschnitt, welcher in die Arteria pulmonalis übergeht, wird Conus pulmonalis genannt.

An dem eröffneten rechten Ventrikel lassen sich 2 Abschnitte erkennen, der venöse Kammeranteil und der arterielle. Beide sind anatomisch durch gratartige Muskelvorsprünge voneinander geschieden, u. zw. oben und medial durch die (der vorher erwähnten Mulde entsprechende) Crista supraventricularis, welche nach unten und lateral in die von *Tandler* als Trabecula septomarginalis bezeichnete Muskelleiste übergeht. Letztere bildet einen gratartigen Vorsprung, welcher zur äußeren Kante des rechten Ventrikels zieht und im Fußpunkt des vorderen Papillarmuskels ausläuft. Diese Muskelleiste, welche bei Huftieren oftmals einen rundlichen, muskulösen Strang bildet, ist von vielen Autoren beschrieben und benannt worden. So finden wir dafür die Bezeichnung „Moderatorband“, welche, wie *Retzer* nachgewiesen hat, auf *King* (1837) zurückzuführen ist. Der Ausdruck „Moderator“ ist deshalb seinerzeit gewählt worden, weil man sich dachte, daß dieser Muskel, von der septalen zur parietalen Wand verlaufend, einer zu großen Ausdehnung des Wandmuskels entgegenwirke.

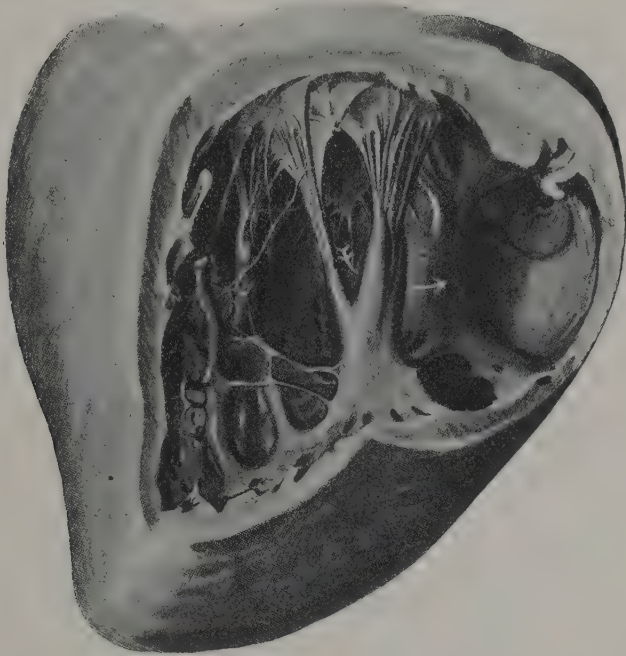
Holl weist in seiner ausgezeichneten Abhandlung über den makroskopischen Aufbau des Atrioventricularsystems nach, daß dieser Muskel schon von

Leonardo da Vinci beschrieben und abgebildet worden ist und nennt ihn daher *Leonardo da Vincischen* Muskelbalken. *Tawara* bezeichnet dieselbe Leiste als „trabeculären Hilfsschenkel“, weil, wie später zu erörtern sein wird, in ihm der rechte Schenkel des Reizleitungssystems zum vorderen Papillarmuskel zieht (s. Fig. 27). Bisweilen kann man auch am Menschenherzen, ähnlich wie beim Huftier, diesen Trabekel als rundlichen, isolierten Muskel vom Septum unterhalb des Fußpunktes des medialen Papillarmuskels entspringen und zum Papillarmuskel ziehen sehen. Für gewöhnlich dagegen bildet er nur eine am Ursprung, am Septum, flache, im Weiterverlauf sich mehr zuschärfende, gratartige Erhebung, welche den Spitzenteil des rechten Ventrikels in eine größere hintere (venöse) und eine kleinere vordere (arterielle) Hälfte teilt (bei der Bezeichnung „venös“ und „arteriell“ ist naturgemäß nicht an den Inhalt der Kammern, sondern nur an die Zugehörigkeit der Kammerabschnitte zum Ein- und Ausströmungsgebiet gedacht). Der venöse Abschnitt des rechten Ventrikels, welcher, wie *Aschoff* hervorhebt, hinter dem arteriellen gelegen ist, ist fast durchwegs trabeculär. Die Trabekel sind dabei in den oberen Abschnitten meist kräftiger als im Spitzenteil, welcher ein mehr kleinmaschiges, schwammiges Trabekelwerk aufweist. Das Einströmungsgebiet ist begrenzt hinten durch die diaphragmale Wand des rechten Ventrikels, medial durch den hinteren Abschnitt des Kammerseptums, soweit derselbe durch die Crista supraventricularis und Trabecula septomarginalis nach vorn begrenzt wird; nach vorn bildet das vordere Tricuspidalsegel die Grenze. Der Übergang in den arteriellen Schenkel, d. h. die Ausflußbahn des rechten Ventrikels, den Conus arteriosus, erfolgt unterhalb des freien Randes des vorderen Tricuspidalissegels und oberhalb der Trabecula septomarginalis zwischen medialem und vorderem Papillarmuskel (Fig. 2). Das Ausströmungsgebiet wird durch den vorderen medialen Abschnitt des dreieckigen Kammerkegels gebildet, u. zw. kann man es durch eine Ebene vom venösen Abschnitt abtrennen, welche von der Einsenkung zwischen venöser und arterieller Basis, an der Hinterfläche des vorderen Tricuspidalissegels entlang, in die Spitze gelegt wird. Diese arterielle Ausflußbahn zeichnet sich dadurch aus, daß sie zum größten Teil glattwandig ist, besonders in dem der Pulmonalis benachbarten Gebiet. Trabekel finden sich in ihr hauptsächlich nur vor der Trabecula septomarginalis an der medialen und vorderen Wand. Mit der eigentlichen Spitze des rechten Ventrikels, welche mit kleinen Trabekeln schwammartig ausgefüllt ist und fast ganz zur Einflußbahn gehört, hat der Ausflußschenkel des rechten Ventrikels nur noch wenig Beziehung, da die ihn unten und hinten abgrenzende Trabecula septomarginalis sich der Vorderwand des Ventrikels dicht anlagert.

Der rechte Ventrikel wird gegen den rechten Vorhof durch drei mehr oder weniger scharf voneinander getrennte Klappen abgeschlossen. Wir unterscheiden nach *Aschoff* und *Sato* ein vorderes, ein hinteres laterales und ein hinteres mediales Tricuspidalissegel. Die Klappen bilden einen am Annulus fibrosus angehefteten, oben rundlichen Trichter, welcher nach unten in dem Ventrikel mit zackigen Rändern aufhört. Die Klappen stellen sehnige Mem-

branen dar mit glatter Vorhofsfläche. An der Ventrikelfläche inserieren die Ventrikelfäden I. bis III. Ordnung, wodurch diese Seite der Segel gestreift höckerig erscheint. Die Gestalt der ausgebreiteten Segel ist die eines flachen Dreiecks, welches in seiner größten Höhe ca. $\frac{1}{5}$ — $\frac{1}{6}$ der Ventrikellänge ausmacht. Die Grenzen zwischen den einzelnen Segeln sind keine ganz scharfen, da die tieferen Einschnitte, welche sie trennen, nicht bis an den Annulus fibrosus heranreichen. Von den 3 Tricuspidalsegeln pflegt das vordere das größte, das hintere mediale das breiteste und das hintere laterale das kleinste

Fig. 2.



Einströmungsbahn des rechten Ventrikels (intraventriculärer Raum) und Ausströmungsbahn (extraventriculärer Raum).

zu sein. Doch kommen, wie überhaupt in den anatomischen Einzelheiten des Herzens, große Variationen vor. Die Grenze zwischen vorderem und hinterem medialen Segel liegt an der Pars membranacea, die zwischen den beiden hinteren Segeln ungefähr unterhalb des Sub-Eustachien-Sinus in der Nähe der hinteren Längsfurche und die Grenze zwischen vorderem und hinterem lateralem Segel etwa im Bereich der scharfen äußeren Herzkante.

Entsprechend der Klappendreizahl haben wir auch 3 Klappenstellmuskeln bzw. Muskelgruppen. Im allgemeinen bilden die rechtsseitigen Papillarmuskeln zierliche schlanke Kegel, welche mit verhältnismäßig schmaler Basis an der Ventrikellinnenwand, zuweilen auf den Brücken der Wandtrabekel entspringen. Der Sitz dieser Muskeln ist ein der Lage der Klappen entgegengesetzter. Man

unterscheidet den medialen, den äußeren vorderen und den äußeren hinteren Papillarmuskel. Der mediale Muskel ist ziemlich konstant in seiner Lage; er liegt hoch oben im Ventrikel an der Grenze des Konus ziemlich dicht unterhalb der Wurzel der Crista supraventricularis. Meistens stellt er nur einen zierlichen, mehr oder weniger vorspringenden, horizontal in das Lumen nach hinten innen gerichteten Muskel dar, der an dem hinteren medialen und am vorderen Segel inseriert. Oft entspringen die Sehnenfäden aber auch direkt aus der Ventrikelwand, wo dann nur ein kleiner Höcker mit sehniger Kuppe diesen Papillarmuskel andeutet. Der äußere vordere Papillarmuskel gilt als der größte des rechten Ventrikels. Zu seinem Fußpunkt zieht das sog. Moderatorband, welches den rechten Schenkel des Reizleitungssystems mit sich führt (s. Fig. 27). Er entspringt im mittleren Drittel des Ventrikels von der vorderen Wand in der Nähe der scharfen Herzkante und ist wohl immer als muskulöser schlanker Kegel anzutreffen. In seiner Nachbarschaft, u. zw. meistens etwas höher gelegen, trifft man häufig einen ganz schlanken akzessorischen Papillarmuskel, welcher bei hypertrophiertem rechten Ventrikel sich zu ansehnlicher Stärke heranbilden kann. Der äußere vordere Papillarmuskel bedient das vordere, demnächst das hintere laterale Segel. Letzteres stellt hauptsächlich der äußere hintere Papillarmuskel, welcher im Winkel zwischen hinterer und äußerer Ventrikelwand, gewöhnlich verdoppelt, dicht unter dem freien Rand der Klappe entspringt und auch zu dem hinteren medialen Segel Sehnenfäden entsendet. Die Sehnenfäden der Papillarmuskeln setzen sich am freien Rande der Klappen an, in welche sie in feinen Säumen übergehen, wobei sie sich in feinste, fingerförmige Fäden aufteilen können.

Eine kurze Strecke weit oberhalb des freien Randes der Klappen inserieren in zweiter Reihe die Sehnenfäden II. Ordnung, welche von akzessorischen Papillarmuskeln ausgehen oder meistens direkt aus der Ventrikelwand sich loslösen. Ihrem Ansatz (an der Ventrikelseite) entsprechend, sind die Klappen auf der Vorhofsseite buckelig vorgewölbt und in dieser Zone (dem Schließungsrande) etwas verdickt. Eine dritte Art von Sehnenfäden, die der III. Ordnung, stellen kurze, sehnige Fäden oder Membranen dar, welche im Ansatzwinkel der Klappen von der Ventrikelwand zu letzteren ziehen.

Die arterielle Ausflußbahn setzt sich mit dem muskulösen walzenförmigen Konus in die Arteria pulmonalis fort. Dabei hört die Konusmuskulatur vorn mit einem ziemlich scharfen ringförmigen Rande plötzlich auf. Diesem Rande entspricht etwa (nicht ganz) der Beginn der Arterie, welche bindegewebig ist und sich erst weiter oben in die elastisch muskulöse Arterienwand fortsetzt. Drei halbmondförmige sog. Taschenklappen sind derart in der Arterienwurzel angeordnet, daß eine derselben vorn und 2 hinten gegen die Aorta liegen. Zwischen den einander zugekehrten, an ihren Spitzen sich treffenden, konvexen Anheftungslinien der Klappen liegen dreieckige fibröse Felder, die Spatia intervalvularia (*Henle*), auf welche innen die Konusmuskulatur noch ein Stück weit hinaufragt. Die Klappen selbst bilden fibröse, nach oben offene Taschen, deren freier Rand in der Mitte eine kleine Erhebung zeigt. Über

die dem Lumen zugekehrte Fläche der Klappen verläuft, näher dem oberen freien Rande, eine kleine Erhebung, die sich in der Mitte nach oben zu der erwähnten Randerhebung fortsetzt (Noduli Arantii). Oberhalb der „Schließungslinie“ der Klappen sind letztere verdünnt und zuweilen gefenstert. Entsprechend den Taschenräumen ist die Außenwand der Arterie zu den Sinus Valsalvae leicht ausgebuchtet.

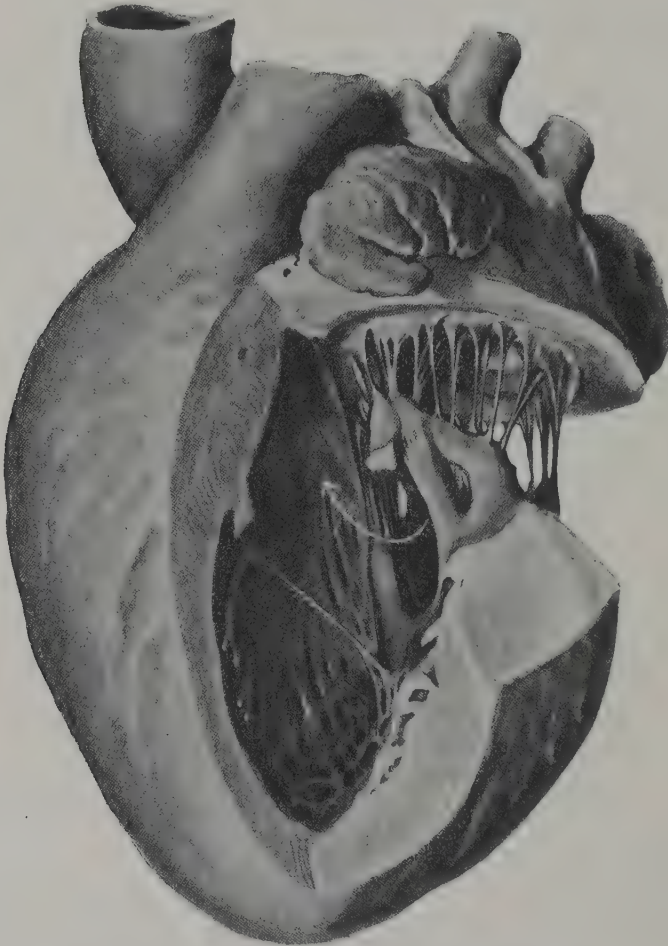
Der linke Ventrikel bildet einen mehr rundlichen Kegel, dessen Spitze mit der Herzspitze zusammenfällt. Da diese ausschließlich vom linken Ventrikel gebildet wird, die Muskelmasse des linken Ventrikels sehr viel mächtiger als die des rechten Ventrikels und das Herz nach links hinten gedreht ist, nimmt der diaphragmale Teil der Hinterwand einen verhältnismäßig großen Abschnitt ein. Die Grenze nach der Vorderwand zu ist abgerundet und ebenso die vordere und hintere Septumgrenze, da die Kammerscheidewand in den rechten Ventrikel eingebuchtet ist. Die venöse und arterielle Basis liegen ziemlich in einer Ebene, letztere nur wenig höher und nicht wie rechts vor, sondern rechts neben der venösen Basis, von welcher sie auch nicht durch einen muskulösen Vorsprung wie am rechten Ventrikel getrennt ist. Auch am linken Ventrikel ist vorwiegend der venöse Abschnitt trabeculär gestaltet, während der arterielle, welcher im wesentlichen durch die rinnenförmig ausgebuchtete Kammerscheidewand gebildet wird, glatte Wandung zeigt. Die Einflußbahn (Fig. 3) liegt in der Rinne, welche die zusammenstoßende hintere und vordere Ventrikelwand in der stumpfen linken Herzkante bilden. Vorn und hinten wird sie außerdem durch die Muskelwülste der Papillarmuskelgruppen und medial durch das mediale (Aorten-) Segel der Mitralklappe begrenzt. Sie reicht bis in die Ventrikelspitze, welche ebenfalls mit kleineren Trabekeln ausgekleidet ist, aber nicht in der schwammartigen Weise wie rechterseits. Die Ausflußbahn ist, wie gesagt, vorwiegend glattwandig, nur im unteren Drittel trabeculär. Am oberen Ende liegt medial zwischen rechter und hinterer Aortenklappe im Spatium intervalvulare die Pars membranacea septi, welche, wie *Jarisch* neuerdings gezeigt hat, von mannigfacher Größe und Gestalt sein kann, je nachdem die rechte Vorhofsmuskulatur, welche sie von hinten oben begrenzt, stark oder schwach entwickelt ist und dementsprechend von oben mehr oder weniger tief herabreicht. Außerdem kommt noch die Lage und Beschaffenheit der Crista supraventricularis dextra in Betracht, welche die Pars membranacea von vorn oben zum Teil überlagert, falls sie weit rückwärts am Septum entspringt. Unterhalb des Septum membranaceum springt die Kammerscheidewand wulstartig vor.

Die venösen Klappen des linken Ventrikels, die Mitralklappen, bestehen aus 2 großen Segeln, welche als vorderes oder Aortensegel und als hinteres Segel bezeichnet werden. Wie *Aschoff* aber unlängst betont hat, ist auf Grund entwicklungsgeschichtlicher Überlegungen die ebenfalls gebräuchliche Benennung mediale und laterale Klappe vorzuziehen. Das größere der beiden ist das mediale Mitralsegel. Es entspringt am Annulus fibrosus und an der Aortenwurzel unterhalb des hinteren Aortensegels. Seine Anheftungs-

linie nimmt den medialen Abschnitt des Atrioventrikularringes ein; diese reicht noch etwas auf die Hinterseite, mit einem größeren Anteil aber auf die Vorderseite des Annulus fibrosus. Der äußere hintere Abschnitt des linken Annulus fibrosus dient der lateralen Mitralisklappe als Ursprung.

Den beiden Klappen entsprechen 2 Papillarmuskeln oder vielmehr Muskelgruppen, die vordere und die hintere, welche aus 2 oder mehreren kleineren

Fig. 3.



Einströmungsbahn (intrapapillärer Raum) und Ausströmungsbahn (extrapapillärer Raum) des linken Ventrikels.

Papillarmuskeln zusammengesetzt sind. Im Gegensatz zu denen des rechten Ventrikels bilden die linksseitigen Papillarmuskeln kräftige, breitbasig entspringende Muskelkegel, welche zwischen unterem und mittlerem Drittel der Ventrikelwandungen ihren Ursprung nehmen. Die vordere Gruppe sitzt an der Vorderwand, etwa in der Mitte zwischen Kammerseptum und linker Herzkante, die hintere an der Hinterwand in der Nähe des Septums. Die Zahl

der die beiden Gruppen zusammensetzenden Papillarmuskeln und akzessorischen Muskeln ist schwankend und kann 3 bis 4 und mehr betragen. Für gewöhnlich aber findet man jede Gruppe in der Hauptsache nur aus 2 kräftigen, miteinander verwachsenen Papillarmuskeln aufgebaut. Beide Stellmuskeln bedienen sowohl die mediale wie die laterale Klappe. Die Anordnung der Sehnenfäden ist prinzipiell dieselbe wie rechts, auch ihre Einteilung in Sehnenfäden I., II. und III. Ordnung.

Im linken Ventrikel finden sich verhältnismäßig häufig die sog. falschen Sehnenfäden. Der Ausdruck „falscher Sehnenfaden“ ist im Gegensatz zu den Klappensehnenfäden geprägt worden, da diese falschen Sehnenfäden zu den Klappen keine, wohl aber zu den Papillarmuskeln Beziehungen haben, wenn dieselben auch, wie später gezeigt werden wird, ganz anderer Natur sind. Entsprechend dem Verhalten beim Huftierherzen, wo man regelmäßig meist ziemlich starke falsche Sehnenfäden vom Kammerseptum sich loslösend zu den Papillarmuskeln ziehen sieht, findet man auch am menschlichen Herzen öfters, allerdings für gewöhnlich sehr viel dünnere falsche Sehnenfäden vom oberen Drittel der Ventrikelscheidewand zum vorderen Papillarmuskel verlaufend (Fig. 3 und Tafel XII). Sie können aber auch zwischen beiden an der Ventrikelwand inserieren und sich während ihres Verlaufes durch den Ventrikelhohlraum noch weiter teilen. Eine zweite Lieblingsstelle ist der hintere obere Abschnitt des Kammerseptums und der Pars membranacea, von wo häufig ein sehr feiner Sehnenfaden zum hinteren Papillarmuskel zieht. Dieser ist oft rein fibrös und enthält keine Reizleitungsfasern. *Mönckeberg* hat diesen Gebilden eingehende Untersuchungen gewidmet (nachdem *Tawara* auf ihre Bedeutung für das Reizleitungssystem aufmerksam gemacht hat) und sie auf Grund ihres histologischen Aufbaues in verschiedene Gruppen eingeteilt.

Die arterielle Halbrinne des linken Ventrikels setzt sich nach oben in die Arteria aorta fort. Sie entspringt vom Annulus fibrosus zwischen beiden venösen Kammerostien und der Pars membranacea septi ventriculorum. Oberhalb des schon vorher erwähnten Muskelwulstes am oberen Rande der Kammercheidewand liegen mit ihrer tiefsten Ansatzlinie die 3 halbmondförmigen Klappen, bei denen wir 2 vordere und eine hintere unterscheiden. Die Basis der hinteren und linken vorderen Taschenklappe reicht bis an den Ursprung des Aortensegels der Mitralis, welches hier mit der Aortenwurzel denselben Ursprung am Annulus fibrosus hat. Zwischen der linken und der rechten Klappe der Aorta besteht ein besonders großes Spatium intervalvulare als Teil der Aortenwurzel, welches in mehr oder weniger großer Ausdehnung durchscheinend und der Pars membranacea septi zugehörig ist. Die Klappen der Aorta gleichen denen der Pulmonalis. Die Sinus Valsalvae sind für gewöhnlich etwas stärker ausgebildet. Die Weite der aufgeschnittenen Aorta, an der Basis gemessen, steht hinter der der Pulmonalis etwas zurück; erst bei älteren Individuen können die Maße dieselben werden.

Die arterielle Versorgung des Herzens geschieht nicht von seinen eigenen Bluträumen, sondern von der Aorta aus durch 2 kräftige Arterien, die Arteria coronaria dextra und sinistra, welche schon dem Körperkreislauf zuzurechnen sind. Die erstere entspringt im Sinus Valsalvae der rechten, letztere im Sinus der linken Aortentasche. Über ihren hauptsächlichsten Verlauf ist schon kurz berichtet. Beide Arterien haben nur kurze Stämme, da sie bald nach ihrem Austritt aus der Aorta Seitenäste abgeben. Die Arteria coronaria dextra gibt als ersten Ast gewöhnlich eine kleine, aber ziemlich konstante Arterie unmittelbar nach ihrem Ursprung für die mediale Vorhofs- bzw. Herzohrwand ab, welche für die Blutversorgung des Sinusknotens mit in Betracht kommt; ein zweiter stärkerer Vorhofsast steigt vor der Vena cava inferior bzw. vor dem sog. Sub-Eustachien-Sinus in die Höhe. Der rechte Ventrikel wird durch einen Konusast, durch einen an der Vorderfläche nahe der scharfen Herzkante und durch den im hinteren Sulcus verlaufenden Endast versorgt, welcher sein Gefäßgebiet auch noch auf die benachbarte linke hintere Ventrikelseite erstreckt. Kurz vor und nach dem Abbiegen dieses absteigenden Astes geht eine kleine kräftige Arterie unter dem Sinus coronarius zum oberen hinteren Abschnitt des Ventrikelseptums und zum unteren Abknütt des Vorhofseptums. Diese Arterie ist von Bedeutung für die Versorgung des Anfangsteiles des Reizleitungssystems. Zuweilen beteiligt sich die rechte Coronararterie mit einem nach oben auslaufenden Ästchen auch noch an der Versorgung der Hinterwand des linken Vorhofes.

Die linke Coronararterie ist für gewöhnlich etwas stärker als die rechte. Ihr im vorderen Sulcus absteigender Ast sendet seine Verzweigungen vorwiegend auf die Vorderseite des linken Ventrikels und kleinere Äste zum rechten Ventrikel nahe dem vorderen Längssulcus. Aus dem Ramus circumflexus treten kräftige Zweige nach abwärts an die seitliche Kante und Hinterfläche des linken Ventrikels, außerdem ein bis zwei konstante Äste aufwärts zum linken Vorhof, welcher medial ebenfalls aus dem kurzen Hauptstamm schon einen kleinen Zweig erhält. Aus dem Ramus descendens anterior wird außerdem noch die vordere Ventrikelseptumshälfte versorgt.

Wie die Untersuchungen der älteren Anatomen und später von *Jamin* und *Merkel*, *Hirsch* und *Spalteholz*, *Nußbaum*, *Haas* u. a. gezeigt haben, bestehen zwischen beiden Coronararterien vielfache Anastomosen. Ich kann das auf Grund von Injektionen nach dem *Spalteholz*schen Verfahren bestätigen und erwähne als solche, die ich häufiger beobachten konnte, Anastomosen zwischen den Vorhofsästen der rechten Coronararterie, welche die Vena cava superior umgreifen und zwischen den beiden medialen Vorhofsästen der rechten und linken Coronararterie, ferner zwischen den Gefäßästen des Conus pulmonalis beider Kranzgefäße und den circumflexen Ästen derselben an der Hinterseite der Kranzfurche. Außerdem sollen nach den genannten Autoren noch vielfache andere Anastomosen auch im Myokard und subendokardial bestehen. Wie *Tandler* hervorhebt, sind aber durch die Vasa vasorum auch

noch Beziehungen zu extrakardialen Gefäßen vorhanden, so mit den Arterien des Zwerchfells, Perikards, den Lungen und mit der Arteria mammaria interna. Ich selbst sah direkte anastomotische Verbindung zwischen der lateralen Arterie des linken Vorhofes und der linken Arteria bronchialis. Als dritte Art von Gefäßverbindung erwähnt *Nußbaum* neuerdings sichere Übergänge von den Arterien in die Venen des Herzens.

Das Versorgungsgebiet der beiden Herzerterien ist im großen und ganzen folgendes: Für die linke Coronararterie der linke Ventrikel mit Ausnahme der hinteren Septumshälfte und dem benachbarten Gebiet der linken Hinterwand längs des hinteren Sulcus, ferner die vordere Hälfte der Ventrikelscheidewand und die benachbarte Zone des rechten Ventrikels vorn; für die rechte Coronararterie die übrigbleibenden Bezirke. Von den Papillarmuskeln wird der linke vordere ausschließlich von der linken, rechterseits der mediale und hintere laterale von der rechten Coronararterie versorgt, während zum linken hinteren und rechten vorderen lateralen Papillarmuskel beide Gefäße ihre Äste entsenden.

Die Herzvenen sammeln sich in einem großen Gefäß, welches als Sinus coronarius mit dem Coronarvenentrichter in den rechten Vorhof mündet. Über die Herkunft des Sinus coronarius aus dem Sinusquerstück bzw. aus der Vena cava superior sinistra, welche noch bei vielen Säugetieren (Kaninchen) und bei den Vögeln erhalten ist, verweise ich auf das Kapitel im Anhang. Der Sinus coronarius ist von ringförmiger, quergestreifter Muskulatur umgeben; die Vene tritt an der Hinterseite des Herzens unter der Vena cava inferior in den rechten Vorhof ein und mündet etwas außer- und unterhalb dieser Vene im annulären Vorhofsabschnitt, nach hinten von der Valvula Thebesii umrandet. Kurz vor dem Einbiegen in den rechten Vorhof nimmt sie die Vena cordis media auf, welche im hinteren Längssulcus nach oben steigt. An derselben Stelle setzt sich die Vena magna cordis in den Sinus coronarius fort, die aus dem vorderen Längssulcus nach oben ziehend unterhalb des linken Herzohres in den Sulcus coronarius abbiegt und den linken Vorhof an der Basis umgreift. Im übrigen verlaufen die Seitenäste der Venen meist mit den Arterien zusammen, die sie aber an Zahl übertreffen. Die schräg über die Außen- und Hinterwand des linken Vorhofes zum Sulcus coronarius ziehende kleine, von *Marschall* beschriebene Vene wird als Rudiment der Vena cava superior sinistra angesehen. Die Anastomosenbildung zwischen den angegebenen Venenästen ist eine recht ausgedehnte.

Außer den genannten Venen sind noch die sog. Venae parvae und minimae zu nennen. Erstere findet man im Bereiche der rechten Coronarfurche, oberhalb welcher sie direkt in den rechten Vorhof münden. Die Venae minimae (Thebesii) sollen als kleinste Gefäße in alle Herzhöhlen einmünden. Ihre Eintrittsstellen in das Herzlumen werden als Foramina Thebesii bezeichnet, die im rechten Vorhof hinter der Einmündung der Coronarvene unterhalb der Valvula Eustachii sowie in der Vorhofsscheidewand unterhalb des Aortenwinkels fast stets zu sehen sind. In den Ventrikeln will *Nußbaum* allerdings

die Venae minimae nicht anerkennen, da ihm Injektionsversuche stets mißlungen sind.

Die mit dem Herzen in Verbindung stehenden Nervenfasern entstammen dem Vagus und dem Grenzstrange und werden als Äste des ersteren Rami cardiaci, als Äste des letzteren Nervi cardiaci genannt. Beide zusammen bilden den Plexus cardiacus. Wie auch sonst beim Nervenverlauf ist die Art des Ursprungs der einzelnen Zweige aus den Hauptstämmen, die Zahl der Äste und ihr Verlauf größeren Schwankungen unterworfen.

Der Vagus sendet für gewöhnlich 2 Hauptäste, Rami cardiaci, zum Herzen, von denen der obere dicht unterhalb des Abganges des Nervus laryngeus superior, der untere am Abgange des Nervus laryngeus inferior (Recurrentis) den Vagus verläßt oder vom Recurrens selbst abgeht. Nach *Müller* soll auch noch vom Brustteile des Vagus ein Ast zum Herzen verlaufen. *v. Schumacher* unterscheidet 4 Vagusäste, den Ramus cardiacus nervi laryngei sup., Ramus cardiacus nervi vagi sup., inf. und Ramus cardiacus nervi recurrentis. Von besonderer Bedeutung ist seit der im Jahre 1866 von *Cyon* und *Ludwig* erfolgten erstmaligen Beschreibung der obere Ramus cardiacus nervi vagi, welcher als Nervus depressor bezeichnet wird. Seiner Anatomie sind viele Untersuchungen gewidmet, und da in seiner Ursprungs- und Verlaufsart nicht nur bei Tieren sondern auch beim Menschen gern Schwankungen vorkommen, ist die Kontroverse über diesen physiologisch interessanten Nerv noch nicht abgeschlossen. Der Nervus depressor entspringt nach *Köster* und *Tschermak* beim Kaninchen meistens mit 2 Wurzeln aus dem Nervus laryngeus sup. und dem Nervus vagus bzw. aus dem Winkel, den die beiden Nerven bilden, oder fast ebenso häufig aus dem Nervus laryngeus sup. allein und endet, mit dem Sympathicus vielfach anastomosierend, im circumadventitiellen Gewebe der Aorta, in welchem er bis zur Wurzel mit vielen kleinen Ästchen verfolgt werden kann. Beim Menschen ist der Verlauf besonders von *Kreidmann*, *Finkelstein* und *v. Schumacher* untersucht worden. Ersterer läßt den Nervus depressor mit 2 Ästen aus dem Laryngeus sup. und Vagus entspringen; nach kurzem Verlaufe senkt sich der Depressor dann wieder in die Vagusscheide, um mit dem Vagus zusammen weiter zu verlaufen. Nach *Finkelstein* dagegen soll derjenige Nerv den Depressor darstellen, welcher dem Ramus cardiacus nervi laryngei sup. entspricht, welcher vom Ramus externus nervi laryngei sup. entspringt und entweder isoliert verläuft oder aber mit dem vom oberen Halsknoten des Sympathicus entspringenden Cardiacus longus verschmilzt. *v. Schumacher* endlich verlegt den Depressor in den Herzast des Laryngeus sup. und die oberen Vagusäste. Die Depressorfasern sind dabei stets mit Sympathicusfasern vermischt. Deshalb sind auch nicht alle Fasern des Ramus cardiacus sup. dem Depressor zuzurechnen, da dann verhältnismäßig zu viele Sympathicusfasern in ihm verlaufen würden. Es ziehen eben mit den Aortennerven auch die Kammernerven zum Herzen. Der linke Depressor soll vorn, der rechte hinten an die Aorta herantreten. Von den Rami cardiaci inf. sollen außerdem Fasern, mit Sympathicuszweigen ver-

mischt in ähnlicher Weise zur Lungenarterie ziehen wie die Depressorfasern zur Aorta.

Die als Rami cardiaci dem Ramus descendens nervi hypoglossi und Rami cardiaci nervi phrenici beschriebenen Herznervenzweige hält *v. Schumacher* für seltene Ausnahmen im Verlauf der Vagus- bzw. Sympathicusfasern.

Die Vagusäste vereinigen sich mit den vom Sympathicus kommenden Zweigen zum Plexus cardiacus. Die Sympathicusäste, Nervi cardiaci, entspringen von den 3 Halsganglien als Nervus cardiacus sup., medius und inferior. Das Ganglion cervicale medium ist aber inkonstant und meistens mit dem Ganglion cervicale inferius verschmolzen. Die Nervi cardiaci ziehen längs der großen Halsgefäße zu den Wurzeln der großen Herzschlagadern. Die die Arteria subclavia umgreifenden Äste oberhalb des Ganglion cervicalis inf. werden als Ansa Vieusseni bezeichnet. Die Nervi cardiaci ziehen, wie gesagt, zur Aorta, u. zw. die der linken Seite vornehmlich zur vorderen Aortenseite, die rechtsseitigen zur Hinterwand der Aorta. Der Nervus cardiacus sup. ist als besonderer Ast nur beim Affen und Menschen vorhanden; die mittleren und unteren Nervi cardiaci werden beim Tiere als die sog. Nervi accelerantes bezeichnet. Beim Menschen sind alle 4 Nervi cardiaci ihnen zuzurechnen.

Die vereinigten Nervi cardiaci des Sympathicus und Rami cardiaci des Vagus bilden zusammen in ihrem gemeinsamen Verlaufe von der Aorta aus zum Herzen den Plexus cardiacus, welcher wieder als oberflächlicher und tiefer unterschieden wird. Am Knotenpunkt der beiden Herzgeflechte liegt das kleine, inkonstante, öfters geteilte Ganglion Wrisbergi. Falls es fehlt, findet doch an seiner Stelle eine Fasermischung des Plexus superficialis und profundus statt.

Die Verteilung des Plexus superficialis und profundus am Herzen ist eine derartige, daß ersterer vorwiegend vom linken Vagosympathicus gebildet wird. Er liegt mehr vorn vor der Aorta, zwischen ihr und der Arteria pulmonalis sich einsenkend. Der tiefe Plexus sammelt sich an der Hinterseite der Aorta vor der Bifurkation der Bronchien vorwiegend aus dem rechten Vagosympathicus, dem sich noch die dorsalen (unteren) Äste des linken Vagosympathicus zugesellen. In ihrem weiteren Verlauf werden die Verzweigungen des Vagosympathicus für gewöhnlich als Plexus coronarii (dext. und sin.) bezeichnet; doch soll nach *v. Schumacher* keine strenge Abhängigkeit der Nerven von der Verlaufsrichtung der Coronargefäße bestehen. Nach *Lim Boon Keng* und *v. Schumacher* versorgen zwar die Vagosympathici vorwiegend die ihnen entsprechenden Herzhälften, besonders die lateralen Herzabschnitte bekommen Nerven der zugehörigen Seite. Die Vorhöfe sollen nach *Lim Boon Keng* von beiden Seiten Nerven erhalten, die Kammern dagegen nur im vorderen Abschnitt, während die hintere Seite vom linken Vagosympathicus versorgt wird.

Nach *v. Schumacher* ist die Verteilung so geordnet, daß die von rechts kommenden Zweige den rechten Vorhof, die vordere Längsfurche der Ventrikel,

das anliegende Gebiet der rechten Kammer und einen Teil der linken Kammer vorn versorgen, während alles übrige, d. h. linker Vorhof, vordere seitliche und ganze Hinterfläche des linken Ventrikels bis zur Längsfurche von den linksseitigen Nerven versorgt wird. Eine nicht durch anatomische, sondern durch physiologische Untersuchungen gefundene Tatsache verdient noch erwähnt zu werden, daß nämlich die beiden Vagi insofern Unterschiede in ihren Angriffspunkten auf das Herz aufweisen, als der rechte Vagus mehr Beziehungen zum Vorhof, der linke zu den Kammern hat, u. zw. soll der rechte Vagus vorwiegend Fasern für den Sinusknoten, der linke Vagus Fasern zum *Aschoff-Tawaraschen* Knoten und Reizleitungssystem führen, ohne daß allerdings die Trennung eine scharfe ist. Es sind das Untersuchungsergebnisse von *Einthoven* und *Wiringa*, *Rothberger* und *Winterberg*, *Ganter* und *Zahn* und *A. E. Cohn*. Letzterer hat ein diesbezügliches anschauliches Schema über die wahrscheinlichen Beziehungen beider Vagi zu den spezifischen Muskelsystemen seiner Arbeit beigegeben.

Noch relativ gering sind unsere Kenntnisse über die Verteilung der Ganglienzellen auf die einzelnen Herzabschnitte. Die ersten Beschreibungen von intrakardialen Ganglienzellen sind mit den Namen *Remak*, *Ludwig* und *Bidder* verknüpft. Ersterer gibt in *Müllers Archiv* aus dem Jahre 1844 eine Abbildung vom Kalbsherzen, in welcher Nervenbündel mit gangliösen Anschwellungen von der Aorta in die Kammerscheidewand und auf den Conus pulmonalis ziehen. Er erwähnt außerdem ein Ganglion an der Wand des rechten Herzohres.

Ludwig beschreibt 4 Jahre später Ganglien in der Vorhofsscheidewand des Froschherzens, die beinahe an die Atrioventrikulargrenze heranreichen.

Bidder erwähnt (ebenfalls beim Frosch) Ganglienzellhaufen am Vorhofsdach, in der Scheidewand und der Atrioventrikularfurche bzw. an der Basis der Atrioventrikularklappen.

Im weiteren wurde die Frage erörtert, ob die Ventrikel des Herzens Ganglien führen, die man bisher an denselben nicht beobachtet hatte. So wurden von *J. Dogiel*, *Kazem-Beck*, *Ott*, *His jun.*, *Schwartz*, *Koplewsky*, *Lissauer* u. a. Ganglien vorwiegend an den Vorhöfen im Bereiche der Einmündungsstellen der großen Venen und im Atrioventrikularsulcus, dagegen nicht im Bereiche der Ventrikel gefunden. Spätere Untersucher dagegen konnten in den oberen Ventrikelabschnitten den Befund von Ganglien erheben (*v. Openchowsky*, *Jacques*, *Fahr* und *Aschoff*, *Koch*, *Schklarewsky*) und noch andere fanden sie über den ganzen Ventrikel bis in die Spitze zerstreut (*Vale-dinsky*, *Smirnow*, *Bethe*).

Lissauer sah, wie erwähnt, die Ganglienzellen nur im Gebiete der Vorhöfe, u. zw. an der Hinterwand in den zwischen beiden Herzohren liegenden Abschnitten, ferner in der hinteren Coronarfurche. Ebenso wie *Schwartz* konnte er außerdem über das ganze Herz verstreut die sog. granulierten Herzzellen nachweisen, welche er für *Ehrlichsche* Mastzellen anspricht. Ob diese Zellart der Grund für die so außerordentlich widersprechenden Angaben über den

Befund von Ganglienzellen am Ventrikel ist, müssen weitere Untersuchungen zeigen. An einem instruktiven Modell hat *Eversbusch* neuerlich die Lage der Ganglienzellen am Vorhof des Katzenherzens dargestellt. Außer mehr vereinzelt Ganglienzellen am Cavatrichter beschreibt er zwei Hauptgruppen, von denen die eine sich parallel zum Verlauf des Sinusknotens an der Hinterwand bis in die Nähe der Vena cava inferior hinab ausbreitet, während die zweite Gruppe im Gebiet des Coronarvenensinus liegt und sich bis in die Ausläufer des Atrioventrikularknotens erstreckt.

Ich selbst kann bezüglich der Lokalisation der Ganglienzellen im allgemeinen die Angaben von *Fahr* und *Aschoff* bestätigen, muß aber dabei hervorheben, daß sicher nicht nur individuelle Schwankungen in der Art der Verbreitung vorkommen, sondern auch, wie *Fahr* mit Recht hervorhebt, ein Unterschied im Befund bei fötalen, kindlichen und den Herzen von Erwachsenen besteht. Je jünger das Herz, desto reichlicher anscheinend der Gehalt an Ganglienzellen. Es braucht wohl kaum hervorgehoben zu werden, daß die größere Anzahl von gangliösen Elementen eben nur eine scheinbare ist und daß der Unterschied hauptsächlich nur darauf beruht, daß im Herzen der Erwachsenen durch die mächtige Ausbildung der Triebmuskulatur im Gegensatz zu den mit ihr nicht gleichen Schritt haltenden Ganglienzellgruppen (und spezifischen Muskelsystemen) die nervösen Elemente viel mehr zurücktreten. Es ist mir aber doch aufgefallen, daß am kindlichen Herzen die Ganglien viel mehr verstreut und in Einzelzellen und in sehr kleinen Gruppen weit mehr in die Nervenbahnen eingeschaltet sind, während man am Herzen des Erwachsenen die Zellen weniger zerstreut, dafür in größeren Haufen angeordnet findet, die auf dem Querschnitt 50 Einzelzellen und mehr aufweisen können.

Um es vorwegzunehmen, habe ich an den Ventrikeln außer in den obersten, der Atrioventrikularfurche benachbarten Abschnitten und in der Atrioventrikularfurche selbst bei meinen einfachen Färbungen keine Ganglienzellen gesehen und hier auch nur in geringer Anzahl unregelmäßig verstreut.

An den Vorhöfen liegt unbestreitbar die Hauptmasse der Ganglienzellgruppen in der Vorhofsscheidewand in dem lockeren Zellgewebe, welches die Muskulatur des rechten und linken Vorhofes trennt. Im Herzen einer etwa 30jährigen Frau konnte ich im Bereiche des Cavatrichters oberhalb des Herzohres zwar wohl größere Nervenstämmе, aber nur ganz vereinzelte Ganglienzellen und diese vorwiegend in dem lockeren Zellgewebe finden, welches die Cava superior mit dem vorderen Ast der rechten Pulmonalvene bzw. der rechten Pulmonalarterie verbindet. Sobald die Höhe des Herzohr-Cava-Winkels erreicht ist, treten die Ganglienzellen gleich in stärkerer Zahl hervor und werden zu stattlichen Gruppen, die auf dem Querschnitt 40—60 Zellkerne erkennen lassen. Die Hauptmasse liegt dabei an der medialen Vorhofswand, dicht oberhalb der Stelle, wo sich rechter und linker Vorhof vereinigen. Die Ganglienzellen schieben sich nach hinten und seitlich bis in den Sulcus des Cavatrichters an den Sinusknoten heran. Auch weiter oben findet man

sie im Sulcus vom Beginn des Sinusknotens an, meist lateral von ihm, doch ist die Zahl der dort gefundenen nicht mit den großen vorerwähnten medialen Zellhaufen zu vergleichen. Die Ganglienzellen begleiten den Sinusknoten bis zu seinen unteren Ausläufern, wobei sie allerdings oft ein Stück weit von ihm entfernt liegen, u. zw. nach hinten vom Sulcus terminalis an der venösen (Sinus-) Wand des rechten Vorhofes bis an die Umschlagstelle des Perikards vor der Lungenvene heran. Die Hauptmasse in der Scheidewand hört im Bereiche des oberen Randes der Fovea ovalis auf und man sieht nunmehr nur längs der hinteren Kante der Fovea, eigentlich mehr in der Wand des linken Vorhofes, eine dünnere Kette in größeren Zwischenräumen abwärts ziehen, welche sich bis in die mediale Wand der Vena cava inferior erstreckt. Doch handelt es sich hier immer nur um ganz kleine Gruppen von Einzelzellen.

Unterhalb der Vena cava inferior treten dann wieder, vor der Vena coronaria ins Septum sich einschiebend, vereinzelte größere Ganglienzellgruppen auf. Doch war ihre Zahl in diesem Falle nicht sehr groß. Dagegen begleiten die Vena coronaria auffallend dicke Nervenbündel. Bis in die unmittelbare Nachbarschaft des Anfangsteiles des Reizleitungssystems habe ich bei diesem Herzen keine Ganglienzellen gefunden. Erwähnt muß noch werden, daß besonders im oberen Abschnitt der Scheidewand eine große Anzahl der Ganglienzellen intraneural gelegen war.

Der Verlauf der Ganglienzellkette bei diesem Herzen entspricht also grob anatomisch der Lage der Sinuskappen im rechten Vorhof, wie er in meinem Schema (Tafel XIII) abgebildet ist, wobei die erwähnten Lücken, besonders im Bereiche der unteren Hälfte der rechten Sinusklappe (wo auch der Sinusknoten fehlt), zu berücksichtigen sind.

Zum Vergleich gebe ich noch die Lage der Ganglienzellen in den Vorhöfen eines etwa 4jährigen Kindes wieder. Hier waren die ersten kleineren, meist in die Nerven eingeschalteten Nervenzellen auf dem Sattel des rechten Herzohres an der Vena cava superior zu sehen. Von hier aus zog sich eine bald stärkere, bald schwächere Kette von Ganglienzellen am hinteren Rande des Sinusknotens, zum Teil nach hinten auf den Sinusabschnitt des rechten Vorhofes verstreut, nach abwärts zur Vena cava inf. Diese Kette überragte das untere Ende des Sinusknotens, wenn sie auch weiter unten dünner wurde, und lief seitlich und unten, etwa dem Ansatz der Valvula Eustachii im Innern des Vorhofes entsprechend, um die Vena cava inferior auf die Coronarvenenmündung zu. Starke Ganglienzellgruppen fanden sich ferner wiederum in der hinteren Furche zwischen beiden Vorhöfen oberhalb der Fovea ovalis. Die Kette dieser Zellen zog sich, am hinteren Rande der Fovea entlang, wo sie größere Lücken aufwies, abwärts gegen die Coronarvene. In der Nähe der letzteren konnte man wieder besonders starke Gruppen beobachten, welche, entsprechend dem Verlaufe der Vene, mehr im Bereiche der Hinterwand des linken Vorhofes lagen und mit der Vene sich nach vorn in die Vorhofsscheidewand einsenkten, ohne auch hier bis ganz in die Nähe des *Aschoff-Tawara*-schen Knotens zu gelangen.

Es ist von Interesse, daß also auch in diesem Falle die Lage der Ganglienzellen deutliche Beziehungen zur Sinus-Vorhofsgrenze erkennen läßt und daß an diesem jugendlichen Herzen der Ganglienzellring weniger große Unterbrechungen zeigt. Die Anordnung der Nervenzellen erinnert unwillkürlich an die Herzen niederer Wirbeltiere, wo die Ganglienzellen ebenfalls an den Ansatzstellen der venösen Klappen gelegen sind und in naher Beziehung zu den dort sich findenden spezifischen Muskelringen stehen. Beim Menschenherzen sind es unzweifelhaft die 3 großen Herzvenen, welche die Nervenbahnen ins Herz leiten, und die Ganglienzellen finden sich vornehmlich in ihrem Einmündungsgebiet, besonders auch in dem der Vena coronaria, der ursprünglichen Vena cava superior sinistra. Ausgesprochene Beziehungen der Ganglienzellen zu der Umrandung der großen Arterien konnte ich nicht feststellen. Ich glaube vielmehr, soweit meine Untersuchungen ausreichen, daß die zu den Arterien in Beziehung gebrachten (*Bidderschen*) Ganglien in Wirklichkeit mit den am meisten vorn im Vorhofsseptum gelegenen, dem Verlauf der linken Sinusklappe entsprechenden Ganglien identisch sind.

Die Beziehungen der Ganglienzellen und Nerven in ihrer Lage zu den spezifischen Muskelsystemen sind auch beim Menschenherzen schon bei einfacher Färbung deutlich. Das besondere Verhalten in den Systemen selbst wird weiterhin besprochen werden. Es ist sicher, daß gerade in der Nähe dieser Herzcentren sowohl im Bereiche des Sinusknotens wie im Coronarvenenrichter nahe den Ausläufern des *Aschoff-Tawaraschen* Knotens starke Ganglienanhäufungen gefunden werden.

II. Der Muskelverlauf des Herzens.

Bezüglich der Architektur der Ventrikelmuskulatur waren es nächst den älteren Autoren wie *Ludwig, Hesse, Winkler*, in neuerer Zeit hauptsächlich *Krehl, Albrecht, Aschoff, Mac Callum, Mall* und *Tandler*, auf deren anatomischen Untersuchungen unsere modernen Anschauungen fußen. Um einen Überblick zu bekommen, läßt es sich daher nicht umgehen, ihre Ergebnisse kurz zu referieren.

Das Wesentlichste aus *Krehls* Befunden ist etwa folgendes:

Der linke Ventrikel setzt sich aus drei Hauptschichten zusammen, einer dünnen äußeren Schicht, deren Fasern von rechts oben nach links unten gehen, am Atrioventrikularring und an der Aortenwurzel entspringen und als innere Schicht fast senkrecht wieder aufwärts ziehen, um entweder in Papillarmuskeln und Chordae tendineae oder am Atrioventrikularring zu endigen. Die zweite Hauptschicht, die innere Schicht, besteht aus zahlreichen verschieden dicken Längswülsten, die durch Querleisten miteinander verbunden sind. Die Spaltung in Längsbündel ist in der Spitze und an der äußeren Wand am stärksten und fehlt an der Scheidewand. An dieser sind zwei einander kreuzende Muskelzüge wichtig, ein vorderer schwächerer, der von der Aortenwurzel nach vorn in die Scheidewand geht, und ein stärkerer tiefer gelegener, welcher von vorn oben an der Aortenwurzel nach hinten unten zur Außenwand zieht.

Die Papillarmuskeln kommen von der freien Wand her und beziehen ihre Fasern außer aus der inneren auch wesentlich aus der mittleren Schicht. Letztere stellt eine

ziemlich selbständige, zwischen äußerer und innerer Schicht gelegene, von dieser aber nur künstlich zu trennende Schicht dar, deren Fasern mehr der Horizontalen sich nähern. Sie bildet einen nur dem linken Ventrikel zugehörenden Kegelmantel mit oben breiter, unten engerer Öffnung. Durch letztere treten die Fasern der äußeren Schicht (am Herzwirbel) über. Die Fasern außen und innen an dieser Mittelschicht haben entgegengesetzte Richtung. Das für die Herzbewegung wichtige Muskelwandstück wird von *Krehl* als Triebwerk bezeichnet. Die Fasern des Triebwerkes enden nicht sehnig, sondern kehren als Schlingen zu ihrem Ausgangspunkte zurück.

Am rechten Ventrikel unterscheidet *Krehl* einen Einströmungs- und einen Ausströmungsteil. An Muskelfasern ist zu unterscheiden zwischen solchen, die nur dem rechten Ventrikel, und solchen, die beiden Kammern angehören. Der Einströmungsabschnitt hat zwei Muskelschichten, eine äußere, dünne und eine innere, netzförmige, dickere Schicht. Die Außenschicht bezieht ihre Fasern im wesentlichen vom linken Ventrikel (Scheidewand, hinterer Aortenknorpel). Sie laufen von links hinten oben nach vorn rechts unten in den besonderen Wirbel des rechten Ventrikels. Die Fasern, welche den Wirbel nicht mehr treffen, gehen in die vordere Commissur- oder über diese hinweg in die Außenwand der linken Kammer. Ein Teil der Außenschichtfasern biegt auf seinem Wege scharf nach innen um und gesellt sich der inneren Schicht zu. Die innere Schicht entspringt am oberen Rande der Scheidewand, zieht an der Scheidewand abwärts und gibt in wechselnder Höhe Fasern für den Einströmungsabschnitt ab, in welchem sie in den Trabekeln und Papillaren aufwärts ziehen, um in Sehnenfäden oder am Atrioventrikularring zu enden. Die Trabekel sind im Einströmungsabschnitt im wesentlichen parallel der Herzachse, im Ausströmungsteil (Konus) senkrecht dazu gerichtet. Die Papillarmuskeln erhalten Faserzug von allen Seiten und Schichten, auch vom linken Ventrikel her.

Auch am Ausströmungsteil (Konus) des rechten Ventrikels sind zwei Schichten, eine innere längsverlaufende und eine Ringschicht zu unterscheiden. Ebenso enthält der Ausströmungsteil nach den Klappen zu konvergierende Längswülste wie die Aorta, die mit dem Trabekelwerk des Einströmungsgebietes in Zusammenhang stehen und als Klappenpolster dienen. Die Außenschichten des Konus gehören ihm zum Teil allein an, zum Teil ziehen sie zum linken Ventrikel hinüber. Der Ursprung dieser Fasern geht von der Scheidewand an der Aortenwurzel, zum Teil von einer Sehne (Konussehne) aus, welche von der Grenze zwischen rechter und linker Pulmonalklappe nach der Aorta zieht.

Auf *Krehls* Angaben weiterbauend hat *Albrecht* durch mühevolle anatomische Zergliederung in die Struktur der Ventrikelmuskulatur weiteren Einblick zu geben versucht. Er betont, daß man schärfer zwischen inter- und suprapapillärem Raume im linken Ventrikel zu unterscheiden habe. Besonderen Wert legt er auf die Beziehungen der Papillarmuskeln zu den umgebenden Wandschichten des linken Ventrikels und hebt hervor, daß sie der Hauptsache nach aus der sog. intramuralen Schicht aufgebaut werden, welche aus der vorderen Kante der Kammerscheidewand und der vorderen Ventrikelwand hervorkommend, zuerst zum vorderen, dann zum hinteren Papillarmuskel zieht. Dieser wird außerdem durch Muskelzüge, die von der hinteren Septumkante kommen, versorgt, ebenso wie der vordere Papillarmuskel aus dem suprapapillären Raume einen besonderen Muskelwulst zugeführt erhält; ferner zieht zwischen Papillarmuskel und Septum ein trabeculäres Netzwerk in den suprapapillären Raum, welches bei Contraction des Herzens den vorderen Muskelwulst bildet. Beide Muskelwülste stehen wieder mit den sog. vorderen und hinteren Aortenwülsten in Verbindung, welche bei Contraction des Ventrikels entstehen und die Aortenausflußbahn begrenzen. Die trabeculäre Schicht der Papillarmuskeln ist gegenüber der intramuralen verhältnismäßig gering.

Zu diesen *Albrechtschen* Befunden haben schon *Aschoff* und *Tawara* kritisch Stellung genommen und nachgewiesen, daß die von *Albrecht* hauptsächlich am Schafherzen gewonnenen Resultate sich nicht ohne weiteres auf das menschliche Herz über-

tragen lassen und daß auch andere von *Albrecht* mitgeteilte Befunde, so über die von ihm angegebenen Fixpunkte des Herzens und über das Einstrahlen der Vorhofsmuskulatur in die Sehnenfäden zweiter Ordnung, nicht zurecht bestehen.

In neuerer Zeit haben *Mac Callum* und *Mall* unsere Kenntnis über die Ventrikelarchitektur wesentlich gefördert. Beide Autoren suchten die Herzen von Embryonen (Schwein) nach ihrem Faserverlauf zu zergliedern und die erhaltenen Resultate am erwachsenen, auch menschlichen Herzen zu bestätigen.

Mac Callums eigenartiges Ergebnis ist, daß die Herzmuskulatur ein aufgerolltes Muskelband mit Sehnen an beiden Enden wie die quergestreifte Muskulatur darstellt. Die im linken Ventrikel entspringenden Fasern enden im rechten Ventrikel und umgekehrt, u. zw. in den jeweiligen 3 Papillarmuskelgruppen. Die hauptsächlich aus 3 Lagen bestehenden Muskelbänder sind dabei derart S-förmig aufgerollt, daß die oberflächlichen Schichten des einen Ventrikels nach Durchquerung des Septums in den tiefen subendokardialen Schichten des anderen Ventrikels auslaufen. Außer den beiden Ventrikeln gemeinsamen Schichten beschreibt *Mac Callum* noch Bündel, die nur einem (dem linken) Ventrikel zuzurechnen sind (an der Basis des linken Ventrikels und der Aorta und zwischen den Papillarmuskeln).

Das Aufrollen dieses Herzmuskelbandes glaubt *Mac Callum* vielleicht durch das Emporwachsen des Septums veranlaßt. Beide Enden des Muskelbandes in den subendokardialen Schichten beider Ventrikel sind die Wachstumscentren für die Muskulatur. Man findet dementsprechend im embryonalen Herzen in den subendokardialen Abschnitten histologisch die jüngsten Zellelemente mit Kernteilungsfiguren.

Eine Fortsetzung dieser Untersuchung bedeuten die gleichsinnigen Arbeiten *Malls*:

Mall unterscheidet zwei hauptsächlich Muskelzüge, von denen der eine an der arteriellen Ausflußstelle, an Conus pulmonalis und Aortenwurzel, der andere von der venösen Herzbasis, dem Sinusbezirk des embryonalen Herzens entspringt, und bezeichnet sie deshalb als Bulbusspirale und Sinusspirale. Als Fixpunkte für die Ventrikelmuskulatur sieht *Mall* die Gegend der Aortenwurzel, das Septum aorticum und die fibrösen Ringe um die venösen Ostien an. An diesen Bandapparaten sind durch Klappen und Sehnenfäden auch die Papillarmuskeln befestigt. Dort, wo die fibrösen Ringe der venösen Ostien zusammenstoßen, stehen sie mit der Pars membranacea im Zusammenhang. Von hier aus strahlen 3 Bandapparate aus, ein hinterer (posterior triangle) zwischen die beiden venösen Ostien, an welchem die mediale Tricuspidalklappe und die vordere Mitralklappe angeheftet sind und welcher an seiner Ansatzstelle an die Aorta vom *Hisschen* Bündel durchbohrt wird, ein linker (left triangle) unterhalb der linken Coronararterie und ein rechter unter der rechten Coronararterie; letzterer entspricht der *Krehlschen* Konussehne. Diese 3 Ligamente sowie die Klappen vermittelt der Papillarsehnen befestigen die Aorta im Centrum des Herzens.

Die oberflächlichen Muskelschichten ziehen von der Herzbasis spiralig zum Wirbel, biegen dort in die Scheidewand ein und verlaufen als longitudinale Muskelbündel zurück zu den Bandapparaten, von denen sie entspringen, im allgemeinen aber dem Ursprungsort entgegengesetzt inserierend, so daß z. B. die Sinusspirale hinten außen entspringt und vorn innen endigt. Die Muskelfasern schieben sich beim Verlaufe zum Herzwirbel zum Teil übereinander und geben außerdem auf ihrem Wege Fasern nach dem Innern des Herzrandes ab. Am Wirbel bilden diese oberflächlichen Muskelzüge allein die ganze Herzwand, da hier keine circulär verlaufenden Fasern bestehen. Der Wirbel wird aus 2 Hörnern gebildet, dem vorderen und dem hinteren Horn; ersteres wird von der Sinusspirale, letzteres von der Bulbusspirale gebildet, die an der Spitze des rechten Ventrikels noch einen kleineren eigenen Wirbel formt.

Die Bulbusspirale setzt sich, abgesehen von einem circulären Zuge um das linke venöse Ostium, aus einer oberflächlichen und einer tiefen Schicht zusammen. Die oberflächliche Schicht, welche an der Vorderseite des Herzens entspringt, umläuft den linken

Ventrikel, tritt von hinten in das Septum und umkreist innen den linken Ventrikel noch einmal, um in aufsteigenden Zügen hinten an der Aortenwurzel zu enden. Die tiefe Bulbusspirale entspricht zum Teil dem *Krehlschen* Triebwerk. Nach *Mall* besteht diese vorwiegend circular verlaufende Muskulatur aber nicht aus in sich zurücklaufenden Muskelfasern, sondern sie entspringt ebenfalls an der Herzbasis unterhalb des Ursprungs der oberflächlichen Schicht, u. zw. an der linken Aortenseite und der linken Seite des Ostium venosum sinistrum. Die tiefe Bulbusspirale reicht aber nicht so weit abwärts zur Herzspitze, wie *Krehl* es in seinem „Triebwerk“ abbildet, und sie ist außerdem unten weiter offen für den Eintritt der aufsteigenden Muskelzüge.

Die Sinusspirale, welche an der hinteren Seite am fibrösen Ring der venösen Ostien entspringt, umgreift den ganzen rechten Ventrikel, zieht in das vordere Horn des Wirbels und dann in beide Papillarmuskeln des linken Ventrikels, welche in der Hauptsache von ihr gebildet werden. Ein Teil zieht an der Basis der Papillarmuskeln vorbei, um an der Vorderwand des linken Ventrikels innen am Annulus fibrosus zu enden. Auf ihrem Verlauf in den rechten Ventrikel erhält die Sinusspirale Zuzug durch ein starkes Muskelbündel aus dem Innern des rechten Ventrikels. Zwischen beiden Ventrikeln verlaufen interventrikuläre Fasern, welche an der Pars membranacea des rechten Ventrikels entspringen, als longitudinale Fasern am Septum entlang laufen und, nahe der Spitze, wo sie zum Teil zwischen den beiden Herzwirbeln sichtbar werden, in den linken Ventrikel ziehen, um dort subendokardial und in die Papillarmuskeln auszulaufen. Die Beziehungen der Papillarmuskeln des rechten Ventrikels zu den Muskelzügen sind derart, daß der vordere Papillarmuskel eng mit der Sinusspirale, der hintere zum Teil mit der Bulbusspirale, hauptsächlich aber mit den lateralen und medialen Längsmuskelbündeln der Ventrikelwand im Zusammenhang stehen.

In beiden Ventrikeln ist die Verlaufsrichtung der inneren Muskelzüge gegen die arterielle Basis, d. h. gegen den Konus bzw. die Aorta gerichtet.

Auch von der Sinusspirale läßt sich noch eine tiefe Schicht abgrenzen, welche im rechten Ventrikel selbst endet. Am Conus pulmonalis findet man Circularfasern, welche zum Teil durch den dortigen Sehnenstreifen unterbrochen werden, zum Teil am Aortensystem ansetzen.

Die jüngste Beschreibung der Ventrikelmuskulatur rührt von *Tandler* her, welcher 4 Arten von Muskelfasern unterscheidet, die Vortexfasern, die Wandfasern des rechten Ventrikels, die Wandfasern des linken Ventrikels und die interventrikulären Fasern.

1. Die Vortexfasern (hintere und vordere) bilden die äußerste, circular, spiralgig und längsverlaufende dünne Muskelschicht, welche am Herzwirbel in das Herz einbiegt und am linken Ventrikel in die Trabekel, Papillarmuskeln und am Septum auslaufend, in den Chordae tendineae und am Annulus fibrosus endigt.

2. Die Wandfasern des rechten Ventrikels entspringen von der Hinterseite der Annuli fibrosi bis rechts nach vorn von der scharfen Herzkante, umgreifen das Ostium venosum und verlaufen in der Wand des rechten Ventrikels mehr horizontal, etwas absteigend, biegen dann in stumpfem Winkel nach oben ab, um gleichzeitig in das Innere des rechten Ventrikels einzudringen, wo sie in die Trabekel und zum Teil in die Papillarmuskeln übergehen. Die vorn oben gelegenen Fasern ziehen bis zum Sulcus interventricularis, wo sie in das Septum einbiegen, dessen oberflächliche Schicht sie im vorderen Abschnitt mitbilden helfen; ferner bilden die am meisten vorn gelegenen Fasern die Konuswand, welche außerdem noch sphincterartige Muskelfasern aufweist, die an der Konussehne entspringen.

3. Die Wandfasern des linken Ventrikels sind dem *Krehlschen* Triebwerk und der *Mallschen* tiefen Bulbusspirale in Parallele zu setzen. Sie entspringen im Gegensatz zu den vorgenannten an der vorderen Seite der Annuli fibrosi. Sie steigen spiralgig um den linken Ventrikel nach außen unten, lassen aber die Spitze frei. Hinten biegen sie in das Septum ein, laufen in demselben nach vorn, wobei ein Teil der Fasern in die

vorderen Papillarmuskeln abbiegt, die übrigen Fasern ziehen weiter an der Innenseite, nochmals an der stumpfen linken Herzkante vorüber und gehen in den hinteren Papillarmuskel, zum Teil endigen sie an der Hinterseite des Annulus fibrosus am sog. Trigonum fibrosum. Ein Teil der Fasern, nahe der Basis, beschreibt im Gegensatz zu den letzt-erwähnten Fasern, die $1\frac{1}{2}$ mal den linken Ventrikel umkreisen, nur eine Dreivierteltour, da dieselben am vorderen Trigonum (sinistrum) entspringen und hinten (Trigonum dextrum) endigen.

4. Die interventrikulären Fasern entspringen an der unteren und hinteren Umrandung der Pars membranacea septi, verlaufen rechts am Septum in ziemlich parallelen Zügen nach abwärts zur Spitze, wobei sich Fasern den Papillarmuskeln des Septums zugesellen. An der Spitze biegen sie in den linken Ventrikel um, wo sie sich mit den linken Wandfasern zu den Papillarmuskeln begeben.

Ohne Frage hat die Darstellung *Tandlers* von allen Beschreibungen den Vorzug der größeren Einfachheit und Übersichtlichkeit, was besonders für Lehrzwecke, wie *Tandler* es selbst schon andeutet, sicher ein großer Vorteil ist. Im übrigen zeigen aber auch diese Einteilungsversuche, ebenso wie die mühseligen Untersuchungen von *Krehl*, *Mac Callum*, *Mall*, von *Albrecht* u. a., daß unser theoretisches Interesse dadurch zwar sehr in Anspruch genommen und zum Teil befriedigt wird, ja daß manche Fragen, so die der Verankerung der Papillarmuskeln, der Selbständigkeit der einzelnen Ventrikel, der Beziehungen des Reizleitungssystems zur Triebmuskulatur kaum anders als durch Zergliederung der Muskulatur gelöst werden können, daß aber anderseits auch die mühsamsten Präparationen uns eigentlich nur Kunstprodukte liefern, denen wir nur relativen Wert für die Beurteilung der Herzmuskelfunktion beimessen können.

Ich glaube daher, daß man, aufbauend auf die nunmehr gegebenen, wenn auch vielfach voneinander abweichenden anatomischen Daten über den Verlauf der einzelnen Muskelzüge oder Lamellen im übrigen sich wieder mehr, wie *Krehl* es tat, auf die Form des systolischen und diastolischen Herzens stützen, die Aufgabe des Herzens immer berücksichtigen und sich die Entstehung des Herzens aus dem einfachen Schlauch vor Augen halten soll, um auch dem Verständnis für die Anordnung der Muskulatur näher zu kommen. Denn noch ist die Verwirrung groß, der Ansichten sind viele, wie *Tandler* es in seiner historischen Zusammenstellung uns deutlich vor Augen geführt hat.

Während bei den erwähnten früheren Untersuchern vorwiegend die Architektur und der Muskelverlauf der Ventrikel Berücksichtigung fanden, haben wir durch *Keith* ausführliche Angaben über den Muskelverlauf in den Vorhöfen erhalten und ich beziehe mich im folgenden wesentlich auf ihn, wenn ich den Muskelverlauf an den Vorhöfen wiedergebe, bei welchen der Muskulatur außer den Funktionen des Triebwerkes noch die des Abschlusses der großen Venen zukommt, während wir in der Ventrikelmuskulatur vornehmlich das Triebwerk allein zu sehen haben, wenngleich auch hier eine gewisse Unterstützung der Klappenfunktion durch Bildung von Muskelwülsten wahrscheinlich ist.

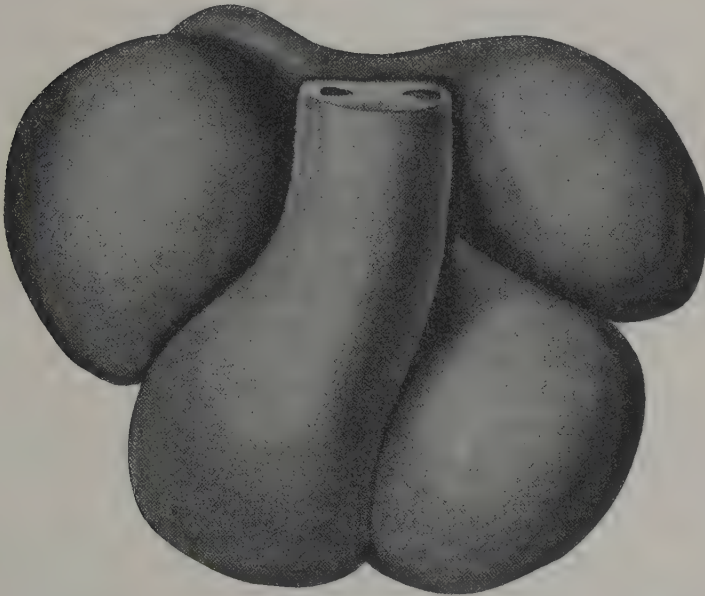
Am rechten Vorhof wird die Hauptmasse der Muskulatur durch die *Musculi pectinati* gebildet, welche von der schon besprochenen *Crista terminalis* entspringen, über die Hinter- und Seitenwand des Vorhofes verlaufen und an den oberhalb des venösen Ostiums gelegenen Ringfasern enden. An der Vena cava superior sind ring- und schlingenförmige Fasern über eine größere oder kleinere Strecke ihres Einmündungsgebietes zu sehen, welche eine Zeitlang insofern besondere Beachtung fanden, als man in ihnen den eigentlichen Rest der Sinusmuskulatur vermutete und die Ursprungsstelle der Herzreize in sie verlegte. Bei diesen Muskelbündeln handelt es sich aber um gewöhnliche Vorhofsmuskulatur, welche vom eigentlichen Vorhof auf die einmündende Vene ausstrahlt, dieselbe gleichsam einfalzend. Diese Cavatrichter-muskulatur, welche peripher vom Gebilde der Sinuskappen gelegen ist, muß man entwicklungsgeschichtlich natürlich mit den Venenmündungen zum Sinusgebiet zurechnen. Sie ist aber nicht mit dem histologisch eigentümlichen besonderen Sinusrest des Sinusknotens zu verwechseln. Die Verlaufsrichtung dieser Muskelfasern ist vorwiegend circulär, wobei dieselben an der medialen Cavawand in das Septum einstrahlen (Septalband von *Keith*). Seitlich und hinten, etwa in der Mitte zwischen Vena cava inferior und superior, überbrückt ein ziemlich konstanter, oberflächlich gelegener Muskelzug den Sulcus terminalis; es ist der sog. *Wenckebachsche* Muskelzug, welcher ebenfalls aus gewöhnlicher Vorhofsmuskulatur besteht und zwischen Pulmonalvene und Vena cava superior an die hintere und mediale Wand der letzteren tritt. Da dieser Muskelzug eine Zeitlang für die einzige Verbindung zwischen dem oberen Cavatrichter (so bezeichne ich den von Herzmuskulatur umgebenen Abschnitt der einmündenden oberen Hohlvene) als vermeintlicher Sinusrest und Vorhof angesehen wurde, ist er in der Literatur öfter erwähnt. Auch die Vena cava inferior wird an ihrer Einmündungsstelle von einzelnen schlingenförmigen Vorhofsmuskelfasern umgeben. Nur ist der dadurch gebildete untere Cavatrichter sehr viel kürzer, oft nur aus wenigen Faserzügen gebildet. Einen kräftigen Ring von Herzmuskulatur zeigt dagegen wieder die Coronarvene im Bereiche ihres von mir als Coronarvenentrichter bezeichneten Einmündungsgebietes.

Im Innern des Vorhofes verläuft, entsprechend dem *Tuberculum Loweri*, ein kräftiger Muskelzug, welcher zwischen der Vena cava superior und inferior entspringt und als hintere und obere Begrenzung der Fossa ovalis zum Aortenwinkel zieht, wo er mit der *Crista terminalis* zusammentrifft. Es ist das das sog. obere Limbusband. Ebenfalls vom Aortenwinkel ausgehend, liegt an der vorderen Umrandung das untere Limbusband, welches nach abwärts in die *Valvula Eustachii* übergeht und zwischen Vena cava inferior und Vena coronaria mit den hinteren *Musculi pectinati* in Verbindung tritt.

Am linken Vorhof beschreibt *Keith* ebenfalls eine *Crista terminalis* (sinistra), welche, am Septum nahe der Einmündungsstelle der Vena cava superior und am Aortenwinkel entspringend, über das Dach des Vorhofes (zwischen Herzohr und Pulmonalvenen) verläuft und neben der Vena cava

inferior wieder in das Septum einstrahlt. Dieser Muskel soll ebenso wie die rechte Crista das Vestibulum vom eigentlichen Vorhof trennen. *Tandler* gelang es nicht, einen derartig ausgesprochenen Muskelzug zu isolieren. An einem formolgehärteten Thoraxfrontalschnitt konnte ich ihn in ausgesprochener Form bestätigen und dabei auch die Abgrenzung des Vestibulum mit den einmündenden Venen beobachten. Ferner sollen septale Wandfasern vom Sulcus interauricularis posterior am Septum nach vorn zum medialen Rande des Ventrikelostiums verlaufen, welche den rechtsseitigen Limbusbändern entsprechen. Auch die Lungenvenen sind von circulären Fasern umgeben, welche

Fig. 4.



Modell des Herzens des menschlichen Embryo; La größte Länge 9 mm. (Nach *Tandler*.)

das Vestibulum des linken Vorhofes bilden und als Lungenvenentrichter zu bezeichnen wären, u. zw. wie bei den Hohlvenen in dem Sinne, daß diese Circulärfasern kein integrierender Bestandteil der Vene als solcher, sondern eigentliche Sinus- bzw. Vorhofsfasern sind. Zwischen beiden Vorhöfen bestehen außerdem noch gemeinsame Muskelverbindungen, u. zw. besonders an der Vorderseite hinter den großen Gefäßen.

Wenn ich meine eigene Erfahrung über die Architektur des Muskelaufbaues des Herzens, besonders der Ventrikel, in folgendem wiederzugeben versuche, so bemerke ich dabei, daß meine eigenen Muskelpräparationen sich nicht den mühevollen Arbeiten von *Albrecht*, *Krehl*, *Mac Callum*, *Mall* u. a. an die Seite stellen können. Ich habe mich aber überzeugt, daß die Zergliederung der Herzmuskulatur in einzelne Muskelzüge und Muskellamellen sich nicht von dem Einwand freimachen kann, der zum Teil von den vorerwähnten

Autoren auch schon selbst erhoben worden ist, daß wir mit diesem Präparieren Kunstprodukte schaffen, die die Kontinuität zahlreichster fortlaufender Muskelfasern unterbrechen. Allerdings muß dabei zugegeben werden, daß selbstverständlich die Kenntnis des Wesentlichen des Muskelverlaufes Vorbedingung bleibt für die Erklärung der Ventrikeltätigkeit.

Das Herz des erwachsenen Menschen ist ebenso wie das des Embryo noch als der gewundene Herzschlauch anzusehen, wie es z. B. in Fig. 16 in *Tandlers* Abhandlung (Fig. 4) abgebildet ist, d. h. wir haben hinten oben die Vorhöfe, welche sich um die auslaufenden Arterien legen, nach unten schließen sich die Ventrikel an, welche mit ihrer Einflußbahn die seitlichen und hinteren Abschnitte der Kammern einnehmen und im Spitzenteil bzw. oberhalb desselben in die Ausflußbahn umbiegen, welche die Mitte und den vorderen Abschnitt der Ventrikel beherrscht, wobei noch der gewundene Verlauf der Ausflußbahn von rechts unten nach links oben zur Mitte angedeutet geblieben ist; die Kontinuität des Herzschlauches ist dabei, abgesehen von seiner Unterteilung der Länge nach, zwischen Vorhöfen und Kammern durch die Entwicklung der *Annuli fibrosi* unterbrochen.

Berücksichtigen wir nun, daß die Herzmuskulatur in frühen Stadien der Entwicklung sich als ein Syncytium erweist, in welchem sich nach dem Lumen zu eine spongiöse, den Hohlraum mehr oder weniger füllende Muskelschicht findet, während die äußeren Ventrikelwandabschnitte eine mehr parallele Schichtung annehmen, so sehen wir diese Verhältnisse im Herzen des Erwachsenen mehr oder weniger bestehen bleiben, d. h. wir haben auch da an der dem Lumen zugekehrten Wandseite eine spongiöse, die trabeculäre Wand-schicht, während die äußeren Wandabschnitte eine ausgesprochen parallel faserige Schichtung in Muskelzügen und -lamellen aufweisen.

An diesen Muskelzügen interessieren zunächst die kompakten nicht trabeculären äußeren Wandschichten, die meines Erachtens derart angeordnet geblieben sind, daß sie den Verlauf des Herzschlauches vom Annulus fibrosus zu den abgehenden großen Arterien wie im embryonalen Herzen im großen und ganzen weiter verfolgen. Jedenfalls läßt sich der Grundverlauf in der Richtung des gebogenen Herzschlauches, trotz aller Verlaufskomplikationen infolge der funktionellen Anpassung des Herzens, der Entwicklung des kleinen Kreislaufes, der entwicklungsgeschichtlichen Umformung des Herzens u. s. w. erkennen. Die Richtung der Muskelzüge ist also im wesentlichen die, daß die Hauptmuskelmasse am Beginn des Ventrikelschlauches, d. h. dort, wo er mit dem Vorhofmuskelschlauch durch den Annulus fibrosus zusammenhängt, beginnt, dann nach der Spitze zu herabzieht und sich wieder aufwärts nach den großen Schlagadern verfolgen läßt. Dieser Hauptverlauf der Muskelzüge hat eine wesentliche Umformung erfahren, u. zw. einmal dadurch, daß bei der Entwicklung des Herzens die Scheidung von rechter und linker Kammer nicht so sehr dadurch sich vollzieht, daß vom Boden der Ventrikel die Kammer-scheidewand in die Höhe wächst, sondern vielmehr dadurch, daß die Ventrikelhohlräume sich zu beiden Seiten der Ventrikelseptumleiste ausstülpfen, so

daß am Spitzenteil des Herzens eine Einstülpung der Muskelzüge in das Septum hinein stattfindet, wie später noch erörtert werden soll. In zweiter Linie kommt für den Umbau die damit zusammenhängende Zweiteilung des Herzschlauches seiner gesamten Länge nach in Betracht, u. zw. ist dabei vor allem die Torquierung der Ausflußbahn der Kammern, die Vorlagerung der rechten Ausflußbahn, welche dem eigentlichen Endverlauf des Herzschlauches entspricht, vor die Ausflußbahn der linken Kammer und gleichzeitig der Umstand in Betracht zu ziehen, daß bei der endgültigen Architektur des Herzmuskelbaues nur die rechte Ausflußbahn ein geschlossenes Rohr darstellt, während die linke Ausflußbahn nur eine Halbrinne bildet. Schließlich bewirkt die verschiedenartige Aufgabe der beiden Kammern in ihrer Versorgung des großen und kleinen Kreislaufes in ihrer funktionellen Anpassung an die verschieden großen Leistungen auch ein baldiges Überwiegen der Kammermuskulatur links über die rechtsseitige, wodurch der Muskelverlauf nicht unwesentlich modifiziert werden muß. Auch ist daran zu denken, daß die Ausbildung des Coronarkreislaufes am Herzen einen muskulären Schutz zum mindesten der größeren Gefäßstämme nötig macht und daß auch dadurch, besonders in der subperikardialen und subendokardialen Schicht, Besonderheiten des Muskelverlaufes sich ergeben müssen.

Wenn ich im folgenden die wesentlichste Verlaufsrichtung der großen Muskelzüge kurz anführe, so wird sich zeigen, daß einmal die Beschreibung sich in manchen Grundzügen mit den vorher erwähnten Beschreibungen früherer Autoren deckt und daß anderseits die angeführten Ursachen für den Umbau der Muskulatur sich in der Tat weitestgehend geltend machen.

Es ist nun aber von prinzipieller Bedeutung, ob man, wie es bisher immer geschehen ist, für die Ventrikelmuskulatur die Anheftung an Fixpunkten annehmen muß oder nicht, d. h. ob die gesamte Muskulatur mit Ursprungs- und Endsehnen, zwischen denen sie sich verkürzen kann, versehen ist. Es sind bisher als solche Fixpunkte angesprochen worden die Annuli fibrosi, die Aortenwurzel, die Pars membranacea, die Konussehne und die Sehnenfäden der Papillarmuskel. Vergegenwärtigt man sich die Lage dieser sog. Fixpunkte, so zeigt sich wieder, daß sie am Anfang und am Ende der Ventrikelschleife gelegen sind, mit Ausnahme der Pars membranacea, welche meines Erachtens nach ungefähr die ursprüngliche Umsäumung des Ventrikelschlauches darstellt. Ich glaube nun, daß diesen Fixpunkten bisher einerseits eine viel zu große Rolle als Ansatzstelle für Ursprungssehnen der Herzmuskulatur beigelegt worden ist und daß anderseits für einige der angeblichen Fixpunkte diese Funktionen nur eine ganz untergeordnete Rolle spielen können. Betrachtet man die gewaltige Masse der Kammermuskulatur und vergleicht damit das Auslaufen derselben in die erwähnten sehnigen Bezirke, so zeigt sich auf den ersten Blick ein großes Mißverhältnis, indem nicht nur die sehnige Einstrahlung außerordentlich gering ist zu der Muskelmasse, z. B. am Annulus fibrosus, sondern die vorhandenen sehnigen Elemente setzen sich auch auf nur verhältnismäßig sehr schmale, sehnige Ringe und Membranen fort, die

einer Arbeitsmuskulatur von dem Umfange des Ventrikelmyokards nicht entsprechen*. Außerdem sind diese Sehnenringe an den Vorhöfen an einem verhältnismäßig sehr dünnwandigen und beweglichen Hohlraum fixiert, daß man sich nur schwer vorstellen kann, wie der Zug der kräftigen Ventrikelmuskulatur die zarten Vorhofswände unbeeinflusst lassen sollte. Um dem Einwand zu begegnen, daß die Endsehnen nicht der Masse der Kammermuskulatur entsprechen, könnte angeführt werden, daß die Kammermuskelbündel sehr lang sind und erst nach längeren Touren, z. B. nach 8 Touren, wie behauptet ist, in die Sehnen ein- und auslaufen, so daß für die Zahl der Muskelfasern die Sehnen schließlich als ausreichend anzusehen wären. Aber das ist nur eine gezwungene Erklärung und der Beweis dafür steht noch aus und wird nach all den mühseligen Präparationsversuchen, die schon gemacht sind, mit den bisherigen Hilfsmitteln auch wohl kaum erbracht werden. Daß die Pars membranacea als Ursprungsstelle für die Septummuskulatur ausfallen kann, sehen wir an dem mißbildeten Herzen, in dem die Pars membranacea fehlt. Weiterhin ist es sehr fraglich, wieweit die Chordae tendineae als Ursprungs- und Endsehnen zu betrachten sind. Wenn wir den Ursprung am Annulus fibrosus und ein Ausstrahlen der Muskulatur in die Papillarmuskeln annehmen, so hätten wir den Ansatz der Muskulatur durch Vermittlung der Klappen wieder am Annulus fibrosus, was meines Erachtens recht unzweckmäßig wäre. Es kommt aber ferner hinzu, daß es nicht sehr wahrscheinlich ist, daß so kräftige Muskelmassen, wie sie die in den Papillarmuskeln verankerte Kammermuskulatur darstellt, an beweglichen Klappen in dem Sinne inserieren sollen, daß die Klappen mit ihrer Anheftungsstelle gleichsam einen Fixpunkt für die Muskulatur bilden, selbst wenn man eine weitgehende Versteifung der Klappen bei der Systole annimmt. Einer derartigen Inanspruchnahme, wie sie für die Entleerung der Ventrikelmuskulatur bei koordinierter Herzbewegung notwendig ist, wird der Klappenapparat kaum gewachsen sein. Es ist vielmehr anzunehmen, daß die systolische Zugwirkung der Papillarmuskeln gerade für das Stellen der Klappen ausreicht. Wie dabei bemerkt sein mag, verdanken die Papillarmuskeln ihre linkerseits beträchtliche Größe wohl nicht nur ihrer Aufgabe als Klappenstellapparat, sondern noch anderen

* Dieselbe Anschauung finde ich aus dem Jahre 1831 bei *E. H. Weber* vertreten, wenn er schreibt: „Es gibt (im Herzen) keine Punkte, die als *Punctum fixum*, als Anfangs- oder Befestigungspunkte, und als *Punctum mobile*, als beweglicher Endpunkt der Fasern betrachtet werden könnten. An der Grenze zwischen Herzkammern und Vorhöfen sind zwar die Fleischfasern durch eine aus hartem dichten Zellgewebe bestehende Linie unterbrochen, und es gibt hier sichtbare Enden der Muskelfasern. Allein diese Linie sowie der Rand der arteriellen Mündungen der Herzkammern sind viel zu klein, als daß sich die unzähligen Fleischbündel des Herzens daselbst unmittelbar ansetzen könnten, und die Anstalten, welche die Natur bei anderen Muskeln getroffen hat, um eine große Anzahl von Fleischfasern auf einen einzigen kleinen Befestigungspunkt mittelbar wirken zu lassen, Sehnenfasern, an deren Seite sich die Muskelfasern anfügen, fehlen hier gänzlich. Auch würde man sich sehr irren, wenn man die genannten Linien für unbeweglicher als andere Stellen des Herzens, und also für Stütz- oder Befestigungspunkte hielte.“

Funktionen, nämlich der Bildung von Seitenwülsten für die Trennung von Aus- und Einflußbahn. Dafür spricht auch die relativ geringe Entwicklung der Papillaren rechterseits, wo allerdings die Klappenstellarbeit schon an und für sich eine geringere sein wird, wo aber vor allem durch die Crista supraventricularis und das Moderatorband den Papillarmuskeln die Aufgabe der Trennung von Ein- und Ausflußbahn zum größten Teil abgenommen ist.

Es liegt mir fern, die vorerwähnten Fixpunkte als Ursprungs- oder Endigungsstellen der Herzmuskulatur völlig abzulehnen. Eine gewisse Fixation der Muskelfasern des Kammerschlauches besteht entschieden am Anfang und am Ende desselben, also am Annulus fibrosus und an der Aorten- und Pulmonaliswurzel, allerdings mehr im Sinne einer Einsäumung der Herzschlauchenden bzw. des Ventrikelschlauches. Die Bedeutung darf aber nicht überschätzt werden, und da die Muskelzüge das Herz zu einem großen Teil mehr oder weniger sphincterartig sowohl im ganzen wie auch für die Ventrikel getrennt umkreisen und in diesen Lamellen ein Syncytium bilden, ist die Ausbildung größerer, der Muskelmasse entsprechender Ursprungs- und Endsehnen auch nicht so notwendig.

Im allgemeinen sind die Faserzüge der Herzkammermuskulatur, wie schon gesagt ist, so angeordnet, daß sie im Sinne der embryonalen Herzschlauchbiegung als mehr längsgerichtete Züge von der Einflußmündung zur Ausflußmündung ziehen, d. h. also von den Annuli fibrosi zur Aorten- und Pulmonaliswurzel. Das soll jedoch nur die Hauptrichtung der einen Gruppe von Faserzügen darstellen, ohne daß ich, entsprechend meinen vorher gemachten Ausführungen, an diesen Stellen Anfangs- und Endsehnen für die Herzmuskelmasse annehme oder das doch nur für einen Teil der Fasern anerkenne. Diese Längsschichtung der Muskulatur ist, wenn man von der oberflächlichen, durch das Perikard durchschimmernden dünnen Muskellage absieht, die das typische äußere Bild des Herzens ausmacht und später noch besonders besprochen werden soll, überall an den Kammern wiederzuerkennen und betrifft die ganze innere Schicht des rechten Ventrikels einschließlich der trabeculären Schichten, wie auch linkerseits besonders die innere trabeculär-papilläre Schicht und das Septum sowie die äußeren Schichten des linken Ventrikels. Daß dabei nicht der strikte Verlauf von der Basis zur Spitze und wieder aufwärts zur Ausflußbahn innegehalten, sondern eine spiraloge, zum Teil circuläre Richtung eingeschlagen wird, ist auf die später erwähnten Umformungen und Anpassungen zu beziehen. Zwischen äußerer und innerer Schicht der linken Kammer findet sich eine mehr circulär verlaufende mächtige mittlere Schicht, die den linken Ventrikel sphincterartig umkreist und auf die von *Krehl* zuerst als Triebwerk der linken Kammer hingewiesen worden ist und die in der tiefen Bulbusspirale von *Mall* und in den Wandfasern des linken Ventrikels von *Tandler* ihre Parallele hat. Auch im rechten Ventrikel ist die tiefere Schicht, die allerdings sehr viel weniger mächtig ist als links, als besondere Sphincterschicht mit mehr circulärem Verlauf anzusehen. Sie hat nur nicht die mehr regelmäßige, in die Augen springende Anordnung

wie das Triebwerk links, da der rechte Ventrikel im Gegensatz zum linken mit seiner geschlossenen Ausflußbahn untergeteilt und abgelenkt ist. Außerdem sind die in den viel weniger starken Trabekeln parallel zur Herzschauchbiegung ziehenden inneren Muskelwandschichten ebenfalls weniger stark als links bei der mächtig entwickelten Trabecularis (und Papillarmuskeln). Dadurch fallen die verschiedenen Wandschichten links mehr in die Augen, während rechts das Triebwerk als besondere Schicht leicht übersehen wird.

Diese gesamte tiefere Muskulatur des Herzens wird von einer verhältnismäßig sehr dünnen oberflächlichen Muskelschicht überzogen, die dem Herzen das besondere charakteristische Aussehen verleiht. Da sie durch das Perikard sehr deutlich durchschimmert und im wesentlichen an der Hinterseite des Herzens vom Annulus fibrosus herablaufend, spiralsch das Herz umkreisend über beide Ventrikel, die Interventrikelfurche überbrückend, hinwegzieht, kann sie leicht eine falsche Vorstellung von dem Muskelverlauf der Hauptmasse der Muskulatur bewirken. Es läßt sich feststellen, daß diese Muskelzüge in den Herzwirbel einstrahlen und von der Spitze aus als mehr subendokardiale Schichten wieder aufwärts strahlen.

Dieses Eintauchen von Muskelzügen in die Herzspitze, der Verlauf von äußeren auf- und absteigenden Schichten am Kammerseptum und dazu quer verlaufenden mittleren Schichten in der Kammerscheidewand scheint auf den ersten Blick der von mir als Hauptverlaufsrichtung angegebenen Anordnung der Muskelzüge im Sinne der Herzschauchbiegung zu widersprechen. Der Widerspruch ist aber nur ein scheinbarer, wenn man sich vergegenwärtigt, wie die Ventrikel entstehen, nämlich durch Ausstülpung nach außen und unten vom Foramen interventriculare, welches die ursprüngliche Umsäumung der Ventrikelschleife darstellt. Diesem Foramen interventriculare entspricht aber die Pars membranacea, so daß es ganz natürlich ist, wenn die Muskelzüge im Septum von der Spitze zu ihr hinauf und wieder zur Spitze hinabsteigen. Auf einem entgegengesetzten Standpunkt steht zwar *Mac Callum*, welcher gerade das Aufwärtswachsen der Ventrikelscheidewand von der Spitze aus dafür in Anspruch nimmt, daß der Muskelverlauf sich umbaut und für die einzelnen Kammern isoliert. Meines Erachtens ist aber seine Beweisführung für die Anordnung der Muskulatur in der Scheidewand, vor allem für die Erklärung der die beiden Ventrikel in horizontaler Richtung verbindenden Muskelzüge nicht ausreichend, um sie nur durch das Emporwachsen der Scheidewand zu erklären. Ich möchte vielmehr meine Annahme, daß Ausstülpungsprozesse dabei eine wesentliche Rolle spielen, eher noch mehr hervorheben, zumal auch, wie später erläutert werden soll, die Ausbildung der Schenkel des Reizleitungssystems sich dadurch ungezwungener erklären läßt. Schwieriger zu erklären ist die mittlere circuläre Schicht des linken Ventrikels. Ich glaube, daß auch diese Fasern ursprünglich einen steileren Verlauf gehabt haben und erst auf dem Wege der Anpassung an die gewaltige Aufgabe der linken Kammer sich zu dem mehr sphincterartigen Verlauf umgeformt haben, wobei allmähliche Neubildung im erwachsenen gegenüber dem embryonalen Herzen

eine wesentliche Rolle spielt. Daß einzelne Faserzüge dieser Schicht im übrigen noch einen ziemlich steilen Verlauf aufweisen, zeigen die Figuren bei *Krehl* u. a.

In der Trabecularis herrscht bei weitem die Längsschichtung im Sinne der Herzschlauchbiegung vor; das gilt auch von den Papillarmuskeln, die nichts anderes sind, als teilweise sehnig umgewandelte Trabekel. Sie sind daher nicht als Ausstülpungen in das Kammerlumen anzusehen, wobei man in ihnen einen fortziehenden auf- und absteigenden Muskelverlauf erwarten müßte, sondern es sind im wesentlichen längsgerichtete Muskelbündel, die nach sehniger Umwandlung ihres der Kammerbasis zu gelegenen Abschnittes an den Klappen endigen. Da aber von ihrem Fußpunkt aus von den blasig aufgetriebenen Ventrikeln auch schrägverlaufende Trabekel in sie einstrahlen, da es sich ferner, besonders linkerseits, um zusammengesetzte Muskelkegel handelt und eine breite Verankerung mit der circulären Wandschicht besteht, sieht man naturgemäß, besonders in den basalen Abschnitten, auch schräg- und quergetroffene Muskelfasern in ihnen verlaufen.

Wie ist es nun aber zu erklären, daß die äußere subperikardiale Muskelschicht, die zwar konvergierend an der Spitze eintaucht, in den oberen Abschnitten sich nicht an die einzelnen Ventrikel hält, sondern über beide Kammern hinwegzieht? Ich möchte auch da an funktionelle Anpassung denken, indem dieser nur relativ dünnen Muskellage, die für die Pumparbeit des Herzens sicher nicht viel in Frage kommen kann, hauptsächlich der Schutz der auf, in und unter ihr verlaufenden Gefäße und Nerven, wenigstens der größeren Stämme, anvertraut ist. Die Muskellage bildet gleichsam ein subperikardiales Platysma, welches außerdem das ganze Herz zusammenfaßt. Es kommt hinzu, daß bei der Biegung des Herzschlauches im Laufe der Entwicklung die Abschnitte, die dem inneren Knickungswinkel der Schlauchwandung entsprechen, also die obere Begrenzung des Septums, naturgemäß zurückbleiben müssen gegenüber den äußeren Wandungen, besonders wenn man noch an Ausstülpungen der Ventrikel denkt. Dabei sind dann auch an der Außenseite bei dem kuglig werdenden Herzen allmählich die Konturen der Schlauchkrümmung verschwunden und nur im Innern des Herzens noch wiederzuerkennen, so daß die äußersten Muskelschichten, die die größten Bahnen zu durchlaufen haben, sich mehr und mehr zu einem Gesamtüberzuge des Herzens umformten, während die mehr inneren Muskelschichten noch weiterhin sich an die ursprüngliche Verlaufsrichtung und zum Teil an die einzelnen Ventrikel halten. Daß wir in den inneren, trabeculären Schichten die jüngsten Herzmuskelemente, in den äußeren die ältesten zu sehen haben, geht aus *Mac Callums* histologischen Studien über „die embryonale Ventrikelmuskulatur“ hervor.

Wenn so auch meine Kritik an der Isolierung besonderer Muskelzüge einen abbauenden Charakter hat, so soll doch in keiner Weise der Wert der Präparation dieser Muskellamellen beeinträchtigt werden, sei es, daß, wie bei *Mac Callum* und *Mall*, entwicklungsgeschichtliche Vorstellungen die

Idee beherrschten, sei es, daß das funktionelle Moment mehr betont wurde, wie bei *Albrecht*, *Krehl* u. a. Ja, letzter Punkt scheint mir sogar der entscheidende. Denn wenn es möglich ist (und das zeigen die schönen Figuren bei *Krehl*, *Mac Callum* und *Mall*), in den verschiedenen Wandschichten der Kammern, besonders der linken, wenn auch mehr oder weniger künstlich, besondere Verlaufsrichtung von Muskelfaserzügen als für die Schichten charakteristisch darzustellen, so zeigt das nur, wie sich die Muskulatur des Herzens nicht nur im ganzen, sondern auch für die einzelnen Herzabschnitte gesondert ihrer Aufgabe angepaßt hat und doch bei den weitgehenden Verbindungen der einzelnen Herzabschnitte untereinander ein richtiges Zusammenarbeiten gewährleistet.

III. Funktioneller Bau des Herzens.

Systolisches und diastolisches Herz.

Die Herzmuskulatur bildet in frühen embryonalen Stadien ein Syncytium mit einer spongiosaartigen trabeculären inneren Schicht, die einen großen Teil der Herzhöhlen ausfüllt. Diese schwammartige, das Lumen der Kammerabschnitte beherrschende Anordnung der Trabekel ist in ähnlicher Form in den Herzen der Fische und Amphibien in gleicher Weise deutlich erkennbar. Wenn nun auch eine oberflächliche Schichtung in den subperikardial gelegenen Abschnitten des Myokards festzustellen ist, so läßt sich doch von einer systematischen Anordnung von Muskelzügen in diesen Zeitpunkten der Entwicklung nicht sprechen. Demgegenüber steht eine ausgesprochene Schichtung von Muskelfaserzügen und lamellöser Aufbau des Myokards beim Herzen des erwachsenen Menschen, wobei aber auch noch der innere spongiöse Abschnitt zu erkennen bleibt, der in den trabeculären Wandabschnitten seine Parallele findet. Es liegt nahe, daran zu denken, daß mit fortschreitender Entwicklung und Anpassung an die durch Bildung des kleinen Kreislaufes immer komplizierter werdende Aufgabe des Herzens auch das Myokard eine Umformung erfahren hat, die es instand setzt, seiner spezifischen Aufgabe gerecht zu werden, d. h. mit geringster Leistung, mit räumlich möglichst begrenzten Exkursionen maximale Arbeit auszuführen. Dazu muß eine bestimmte Blutmenge in dem diastolischen Herzen unterkommen, ohne daß zu weitgehende Muskelexkursionen nötig sind, und unter den gleichen Gesichtspunkten soll das Herz wieder ergiebig entleert werden. Wie entspricht der muskulöse Aufbau des Herzens diesen Anforderungen? Wenn man dieser Frage nachgeht, drängt sich naturgemäß der Bau der Ventrikel in den Vordergrund; doch sind die Vorhöfe und die abführenden Schlagadern in das Bild der Vollständigkeit halber mit einzubeziehen.

Die Vorhöfe mit den einmündenden Venen sind in erster Linie als Sammelreservoir anzusehen; sie liegen deshalb bei aufrechter Stellung des Körpers zusammen mit der Einflußbahn der Ventrikel an den tiefsten Stellen des Herzens auf dem Zwerchfell, der rechte Vorhof tiefer oder wenigstens in

den Hauptabschnitten tiefer als die Ausflußbahn der Pulmonalis; der linke Vorhof liegt zwar im ganzen höher unter den einzelnen Herzabschnitten, aber relativ tief zu den Lungen und zur Ausflußbahn der Aorta. Außerdem liegen beide Vorhöfe an tiefster Stelle bei Rückenlage des Körpers. Der rechte Vorhof, als der dem linken gegenüber wichtigere, ist durch Einbeziehung des Sinusgebietes und das weitere Herzohr der größere, wird aber, wenn man das Sinusgebiet mit den einmündenden Venen von ihm abzieht, ungefähr der Größe des linken Vorhofes entsprechen.

Er zeigt im großen und ganzen einen dünnwandigen Aufbau, der in Parallele zu setzen ist mit den zuführenden Venen. Da er aber auch aktiv, u. zw. wohl als erster aktiver Abschnitt des Herzens in Tätigkeit treten muß, sind Muskelzüge in seiner Wand eingewebt, die noch sehr weitmaschig angeordnet sind, so daß an vielen Stellen zwischen den Muskelleisten nur Endokard und Perikard mit einer dünnen Lage lockeren Zellgewebes dazwischen die Wandung bilden. Die Muskeln springen als trabeculäre Leisten im Innern vor und bilden eine Art Spongiosa, besonders im Herzohrabschnitt, welche in ihren Lücken ebenfalls noch die Aufnahme größerer Blutmengen gestattet. In diesem sackartigen Hohlraum vermag sich das Blut auf leichtestem Wege zu sammeln und hat ebenso leichten Abfluß durch das sehr weite Ostium tricuspidale in die rechte Kammer. Dieses Ostium hat eine fast sagittale Stellung im Herzen und liegt an tiefster Stelle des Vorhofes, so daß das Blut im wesentlichen (immer bei aufrechter Körperstellung gedacht) einfach von rechts nach links bzw. rechts oben nach links unten in den Ventrikel wie in einen weiten Kanal abfließen kann (Tafel I, Fig. 1). Dabei ist aber eine unterstützende Wirkung der Vorhofsmuskulatur mit anzunehmen, die im gleichen Sinne wirken muß, da die Trabekel so angeordnet sind, daß sie alle gegen eine starke Muskelleiste, die den Atrioventrikularring umzieht, nach Überkleidung der gesamten Vorhofswandung zusammenlaufen. Bei ihrer Contraction muß daher eine Annäherung der Vorhofswandung an die Kammeröffnung und ein Auspressen des Blutes in dieselbe hinein zur Wirkung kommen, wobei gleichzeitig durch die Contraction des circulären Vorhofsmuskelringes oberhalb der Kammeröffnung eine Versteifung des Ventrikularrings und eine antagonistische Wirkung gegen den Papillarmuskelzug und die Längsmuskulatur der Kammer sich geltend machen wird. Alles in allem genommen, wird aber die aktive Tätigkeit der Vorhofsmuskulatur bei der breiten Kommunikation zwischen Vorhof und Kammern und den leichten Abflußverhältnissen des Blutes nur eine geringe sein und der Vorhofsmuskulatur mehr die Aufgabe zufallen, die weiten Verhältnisse des Vorhofes dem wechselnden Füllungszustande anzupassen und nach Art eines Windkessels den Zustrom und Abfluß des Blutes zu regulieren. Der Abschluß gegen die Venen wird einerseits durch die Reste der alten Sinusklappen, die *Valvula Eustachii* und *Valvula Thebesii* bewirkt; doch läßt die ganze Anordnung der Muskulatur darauf schließen, daß ein muskulärer Sphincterverschluß unterstützend, wenn nicht überwiegend mit eintritt, wofür weniger die circuläre Cavatrichter-

muskulatur, die besonders bei der Cava superior ausgebildet zu sein pflegt, in Frage kommt, als vor allem die Muskelleiste der Crista terminalis, die bei ihrer Contraction infolge ihrer Verlaufsrichtung zu einem Abschluß des gesamten Veneneinströmungsgebietes führen muß.

Weniger übersichtlich sind die Verhältnisse am linken Vorhof, dessen Wandung im allgemeinen mehr glatt und nur an umschriebener Stelle im und am Eingange zum linken Herzohr trabeculär gebaut ist. Auch der linke Vorhof stellt ein sackartiges Reservoir vor, welches hinter und über den rechten Vorhof gelagert ist. Der Einfluß in den Vorhof geschieht von hinten und oben, seine Abflußöffnung ist nach links unten orientiert. Die Stellung der Kammeröffnung nähert sich ebenfalls der sagittalen Ebene, ist aber etwas mehr schräg gerichtet, so daß eine Verbindungslinie zwischen der 2. linken und der 10. rechten Rippe ungefähr die Ebene der linken venösen Kammeröffnung angeben würde (Tafel I, Fig. 2).

Es ist also auch hier ein natürlicher Abfluß des Blutes aus dem linken Vorhof in den linken Ventrikel, u. zw. in der Richtung von rechts oben nach links unten gewährleistet, wobei jedoch eine stärkere muskuläre Beteiligung der Vorhofswandung, die von kompakterem Bau als rechts ist, in Frage kommt. Auch linkerseits zeigt der Vorhof eine mehr circuläre Ringschicht oberhalb des Klappenringes, in welchem die Vorhofswand umziehende stärkere Muskulzüge einstrahlen, so daß die Richtung der Contraction der Vorhofswand auf die Ventrikelöffnung zulaufen muß. Der Abschluß der Venen wird nicht mehr durch Klappen bewirkt, sondern nächst der sphincterartigen Ringmuskulatur des Lungenvenentrichters durch eine mit der im rechten Vorhofe korrespondierende Crista, welche vor der Einmündung sämtlicher 4 Venenöffnungen, fast einen vollen Kreis bildend, um den hinteren Abschnitt des Vorhofes und über das Dach desselben verläuft.

Eine viel umstrittene Frage ist die, welche Funktion die Herzohren der Vorhöfe auszuüben haben. Die Ausbildung der Vorhöfe, um nicht zu sagen Rückbildung, ist rechter- und linkerseits eine verschiedene. Während wir rechts das Herzohr noch in breiter Kommunikation mit dem Vorhofe finden und ihn als einen integrierenden Bestandteil desselben anzusehen berechtigt sind, zumal da er sich nicht scharf von ihm abgrenzen läßt, bildet das linke Herzohr mehr einen abgetrennten Recessus des Vorhofes mit relativ enger Zugangsöffnung und einer sich daran anschließenden nur kleinen trabeculären Höhle. Man kann sich des Eindrucks nicht erwehren, daß man es hier mit einem Rudiment, mit einem in Rückbildung begriffenen Herzabschnitt, zu tun hat. Vergleicht man mit dem Herzen des erwachsenen Menschen dagegen das Herz der Fische oder Amphibien, so sieht man im Gegensatz zum Menschenherz bei diesen Tierherzen sehr wohl ausgebildete Herzohren, u. zw. beiderseits. Hier bei den niederen Wirbeltieren stellen sie eigentlich nichts weiter vor, als eine zweckmäßige Vergrößerung des Vorhofinnenraumes, der bei den Fischen noch ein gemeinsamer, bei den Amphibien ein unvollständig getrennter Raum ist, und es ließe sich der eigentümliche Bau dadurch erklären, daß zur

Raumersparnis der Vorhof diese Ausstülpung nach vorn vor den Truncus schiebt, anstatt als größerer einheitlicher Hohlraum mehr Platz zu beanspruchen. Am Menschenherzen erinnert nun das rechte Herzohr noch ganz an die Form bei den niederen Wirbeltieren, und da wir in jeder Beziehung im rechten Vorhof überhaupt die meisten Anklänge an die embryonale Zeit finden, wie später noch erörtert werden soll, so ist das erklärlich, zumal wenn man bedenkt, daß der linke Vorhof als selbständiges Gebilde erst in höheren Stufen der Tierreihe auftritt und auch am Menschenherz sich sekundär ausbildet. Das allein genügt aber zur Erklärung noch nicht, und ich glaube, daß

Fig. 5



Herz eines Foetus aus dem 5. Monat.
Das linke Herzohr ist noch verhältnismäßig groß und reicht weit auf den Ventrikel herab.

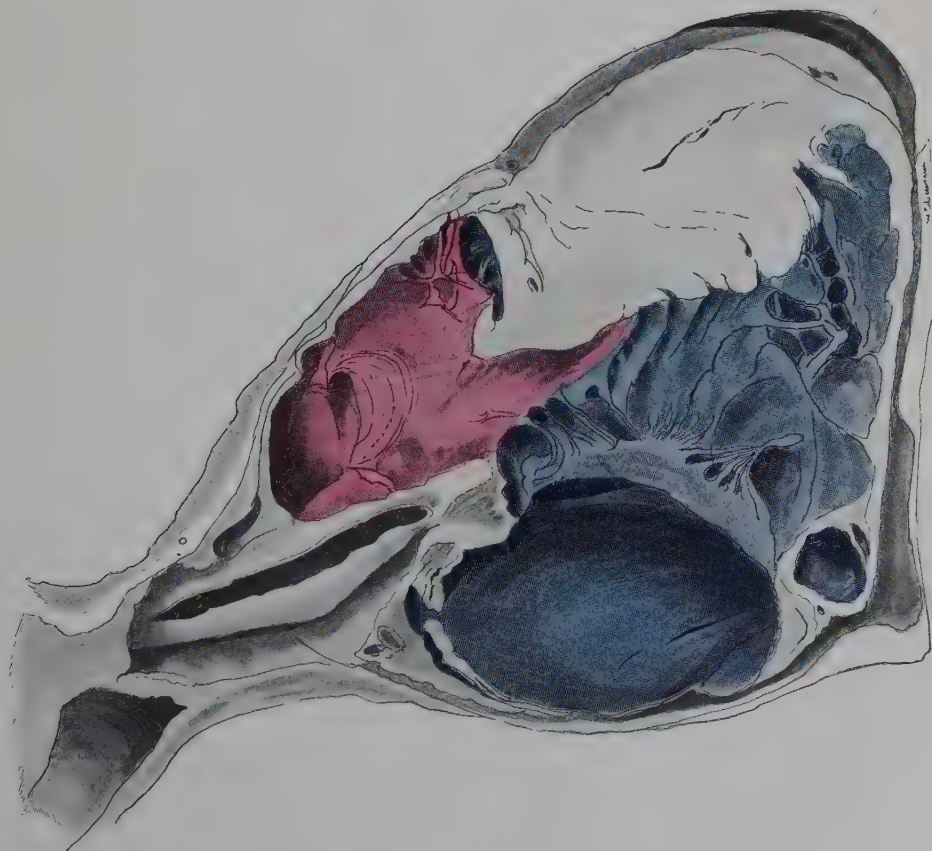
die rudimentäre Ausbildung des linken Herzohres in zweiter Linie darauf zurückzuführen ist, daß am Menschenherzen eine völlige Trennung der beiden Vorhöfe besteht und sie 2 getrennte Kammern zu bedienen haben, und daß die Inanspruchnahme der Vorhöfe als Reservoir eine sehr unterschiedliche ist in dem Sinne, daß der rechte Vorhof als Aufnahmeort für das Blut des großen Kreislaufes größeren Schwankungen ausgesetzt ist und mit seinen Raumverhältnissen leichter anspielen muß als der linke Vorhof, der im wesentlichen nur das geringeren Schwankungen unterworfenen Blutquantum des kleineren Kreislaufes zu bedienen hat. Damit entfällt aber dem Herzohr als komplementärer Vergrößerung des Vorhofes ein Teil seiner Aufgabe und die Verschiedenartigkeit in den Größenverhältnissen der beiderseitigen Aurikel findet eine gewisse Erklä-

rung. Die Untersuchung embryonaler Herzen zeigt, daß ursprünglich beide Herzohren von ziemlich derselben Größe sind. Noch im fünften Monat des fötalen Lebens ist das linke Herzohr ein großes Gebilde, welches weit auf den Ventrikel hinabreicht (Fig. 5). Die Rückbildung setzt am kräftigsten mit dem Verschuß des Foramen ovale ein. Bis zu diesem Zeitpunkt wird der linke Vorhof eben in gleicher Weise wie der rechte in Anspruch genommen.

Wie besonders lehrreich an Schnitten durch in situ belassene Herzen zu sehen ist, schließt sich an beide Vorhöfe derjenige Kammerteil der Ventrikel als Fortsetzung des Herzschauches an, welchen man als Einströmungsgebiet der Kammer bezeichnen muß (s. Fig. 2, 3 und Tafel I, Fig. 1 u. 2). Dabei liegt das Einströmungsgebiet der rechten Kammer unmittelbar neben dem rechten Vorhof. Dieser Abschnitt des Ventrikels zeichnet sich, wie schon genügend erwähnt ist, durch seinen allorts trabeculären Bau aus. Durch diese nach dem Lumen zu spongiosaartige, im Spitzenteil fast schwammförmige Anordnung der Herzmuskulatur, in deren Lücken und Maschen allenthalben das Blut eindringen kann, wird gewährleistet, daß einerseits eine verhältnismäßig große Blutmenge ohne zu weitgehende Ausdehnung des Kammerabschnittes aufgenommen werden kann und anderseits die Trabekel als ein Plus zu der nicht trabeculären Wandmuskulatur für die Bewältigung der Austreibung des Blutes mit hinzugezogen werden können. Die intratrabeculären Lücken zeigen dabei eine Form, die die Aufnahme und Entleerung des Blutes leicht möglich macht, indem sie einmal eine trichterförmige Gestalt haben, d. h. meistens nach dem Lumen zu weiter sind als nach der perikardialen Seite. Sie sind durchschnittlich größer in den vorhofwärts gelegenen Kammerabschnitten als im Spitzenteil und öffnen sich in der Richtung auf die Ausflußbahn des Herzens zu. Anderseits hat aber die trabeculäre Anordnung im Einströmungsgebiet der Kammern noch den Vorteil, daß durch Aneinanderlegen der Muskelbalken schon bei geringen Exkursionen der sich kontrahierenden Kammermuskulatur die intratrabeculären Lücken zum Verschwinden gebracht werden können und dadurch ermöglicht wird, daß der an und für sich weite Anteil des Einströmungsgebietes der Kammern möglichst schnell und ergiebig in seinem Herzzinnenraum verkleinert, das Lumen des Einströmungsabschnittes tunlichst beseitigt wird, um das Blut in den mehr glatten nicht trabeculären Abschnitt der Ausströmungsbahn der Kammern hineinzutreiben.

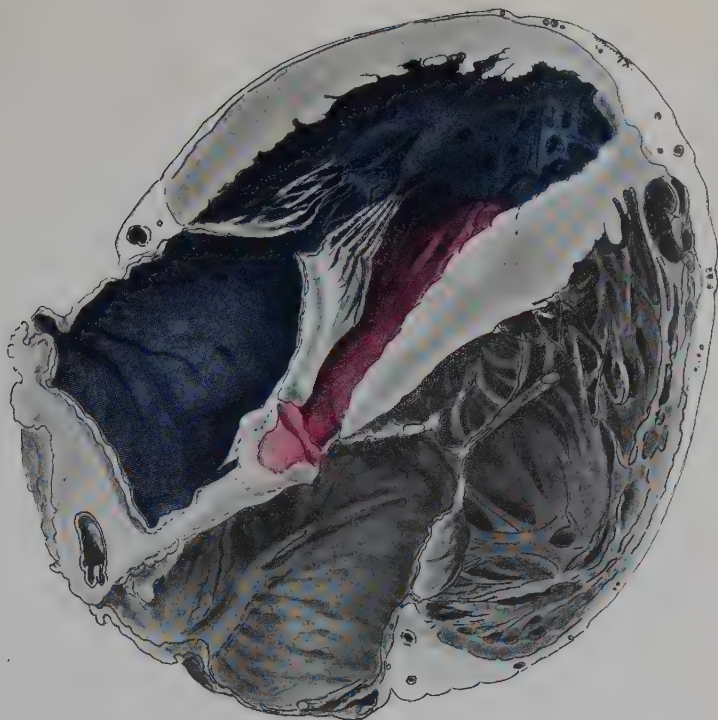
Am linken Ventrikel sind die Verhältnisse ganz ähnliche; auch hier schließt sich das Kammereinströmungsgebiet bei geöffneten Klappen als direkte Fortsetzung des Vorhofes an diesen an. Auch dieses Einströmungsgebiet ist trabeculär gebaut und liegt, was nebenbei bemerkt auch für die rechte Kammer gilt, innerhalb der besonders starken Trabekel der Kammern, der Papillarmuskeln, und noch hinzuzurechnen ist beiderseits das unterhalb des Fußpunktes der Papillaren gelegene spongiöse Spitzengebiet der Kammer, soweit dieses trabeculären Bau zeigt. Während rechterseits die Einströmungsbahn der Kammer unterhalb der Ausströmungsbahn liegt, liegt sie linkerseits, wenigstens für den Anfangsteil der Ausströmungsbahn, oberhalb derselben (s. Tafel I,

Fig. 1.



Frontalschnitt durch das Herz. Abströmungsverhältnisse des Blutes aus dem rechten Vorhof in die rechte Kammer. Das Ausströmungsgebiet der Kammer liegt oberhalb des Einstömungsgebietes.

Fig. 2



Hintere Herzhälfte. Abströmungsverhältnisse aus dem linken Vorhof in die linke Kammer. Das Ausströmungsgebiet der Kammer liegt unterhalb des Einstömungsgebietes.

Fig. 2). Gleichzeitig liegen aber beide Einstömungsabschnitte an der Rückwand des Herzens. Aus der Anordnung ergibt sich, daß beim Einstömen des Blutes im linken Ventrikel die Blutsäule zum Teil von dem großen Mitralissegel getragen und in die Spitzenabschnitte geleitet wird, während auf der rechten Seite im Gegensatz dazu das große Segel das ausströmende Blut mit tragen helfen muß.

Die Erwähnung der beiden großen Kammersegel leitet gleich auf den Kammerabschnitt hin, welcher als die Grenze zwischen Ein- und Ausströmungs-

Fig. 6.



Grenzscheide zwischen Ein- und Ausströmungsgebiet der rechten Herzkammer, durch den medialen, den äußeren vorderen Papillarmuskel und das große Tricuspidalissegel gebildet.

gebiet aufzufassen ist und welcher auch aus diesem Gesichtspunkte von mir als Grenzscheide bezeichnet wurde. Wie im vorhergehenden ausgeführt, wird die Grenzscheide in den Kammern beiderseits durch ein großes Klappensegel und 2 Papillarmuskeln sowie durch den die Fußpunkte der Papillaren verbindenden Muskelbalken dargestellt. Das sind am rechten Herzen das vordere Tricuspidalissegel, der kleine mediale und der große vordere äußere Papillarmuskel sowie das zwischen beiden Muskeln verlaufende Moderatorband bzw. die Taenia septomarginalis (Fig. 6); auf der linken Seite sind es das große

mediale Mitralissegel sowie die zugekehrten Flächen der beiden Papillarmuskeln mit ihrer trabeculären Fußpunktverbindung (Fig. 7). Schlagaderwärts von den Grenzscheideebenen liegen die Ausflußbahnen der Ventrikel, die natürlich nur im systolischen Herzen richtig abgegrenzt werden können, die aber auch am erschlafften oder am nur totenstarren Leichenherzen durch ihren besonderen Bau zu erkennen sind.

Fig. 7.



Grenzscheide des linken Ventrikels, durch den vorderen und hinteren Papillarmuskel und das große Mitralissegel gebildet.

Rechterseits steigt die Ausflußbahn von dieser Grenzscheide ab von links unten und außen nach rechts oben und medial. Der Abschnitt umfaßt im wesentlichen den als Conus pulmonalis bekannten Muskeltrichter, welcher in die Arteria pulmonalis ausläuft. Dieser Abschnitt ist in der Hauptsache glattwandig, nicht trabeculär und es ist nach seiner ganzen Bauart anzunehmen, daß er bei der Contraction des Herzens in seinem Lumen nie vollständig zum Verschwinden gebracht wird, sondern immer als Kanalrohr nach der Lungen-

arterie bestehen bleibt, wobei der Abschluß gegen das Einströmungsgebiet durch Verkürzung der Taenia septomarginalis, durch Anlegen des großen Papillarmuskels gegen das Septum in der Richtung auf den kleinen Papillarmuskel nächst dem Klappenschluß der Tricuspidalklappen sicher auch mit für die Verhinderung des Zurückströmens des Blutes in Frage kommt.

Linkerseits zeigt sich, daß für das Ausströmungsgebiet nur ein verhältnismäßig kleiner Kammerabschnitt in Frage kommt. Das von hinten oben durch die Grenzscheide einströmende Blut trifft auch linkerseits auf einen fast völlig glatten Wandabschnitt, auf die muskulöse Halbrinne, die sich in der oberen Hälfte der Kammerscheidewand ziemlich von der Spitze des hinteren Papillarmuskels nach der Aorta zu erstreckt. Die Halbrinne wird nach hinten und oben gedeckt durch das große Mitralissegel, welches auf dieser Seite teilweise die Funktion der Crista supraventricularis des rechten Ventrikels mit übernehmen muß, die im rechten Herzen bewirkt, daß die Ausflußbahn ein geschlossenes Rohr darstellt, während sie im linken Herzen nur eine Halbrinne bildet. Die Richtung der Ausflußbahn ist von links vorn unten nach rechts hinten oben.

Ehe ich weiter darauf eingehe, in welcher Weise der Muskelverlauf der Kammern seiner funktionellen Aufgabe gerecht wird, ist es nötig, sich über die Formveränderungen zwischen systolischem und diastolischem Herzen klar zu werden. Dabei ist die äußere Umformung des Herzens, wenn man von den Einwänden, die über die Gewinnung einschlägigen Materials zu machen sind, absieht, relativ leicht einer Beschreibung zugänglich, während die der inneren Umformung vor allem aus Mangel an Material außerordentlich schwierig ist, da, selbst wenn es einem gelingt, ein systolisches Menschenherz zu bekommen, man sich mit einem oder wenigen Schnitten durch das Herz begnügen muß, wenn man nicht die Zusammenhänge stören will und Präparationen kaum zu machen sind; und doch ist der innere Umbau so bedeutungsvoll für die Erklärung des Herzmuskelverlaufes und für die Bewertung der Ein- und Ausflußabschnitte. Es ist aber schon von früheren Untersuchern hervorgehoben worden, daß es außerordentlich schwierig ist, die systolische Form des Herzens descriptiv wiederzugeben, da die künstlich zur Contraction gebrachten Herzen wohl sicher nicht ganz der systolischen, in den einzelnen Herzabschnitten nacheinander erfolgenden Formveränderung des lebenden Herzens entsprechen. Wir gewinnen dabei vielmehr in allen Abschnitten gleichzeitig kontrahierte Herzen, ohne die Gewähr zu haben, daß alle Muskelfasern in physiologischer Weise sich verkürzten. Es kommt hinzu, daß wir bisher, außer beim Tier, nicht in der Lage waren, ein menschliches Herz zuerst in diastolischer und darnach in systolischer bzw. wärmestarrer Form zu untersuchen. Es ist, soweit ich Angaben darüber finden konnte, bisher nur von *Krehl* ein frisch überlebendes Herz, nach Überführung in systolischen Zustand durch Wärmestarre, anatomisch beschrieben worden, während die übrigen Autoren sich mit weniger frischem Material begnügen mußten, bei dem es immer fraglich bleibt, wie weit die Formveränderung der Norm sich nähert.

Auch meine eigenen früheren diesbezüglichen Untersuchungen haben mir gezeigt, daß je nach der Frische des Materials der menschlichen Herzen die Ergebnisse der Konfiguration des systolischen Herzens schwankend sind, so daß man mit seinen Deutungen vorsichtig sein muß. Daß auch die Zuhilfenahme von Tierherzen nur bedingten Wert hat, beweist die Kritik von *Aschoff* und *Tawara*.

Um so wertvoller ist das Material, welches wir aus der Zeit des verfloßenen Krieges gelegentlich einer Frühsektion in Gestalt eines noch diastolischen Herzens zu Gesicht bekamen, welches in dieser diastolischen Phase abgegipst werden konnte und sich bei schneller Technik noch in systolisch wärmestarrten Zustand überführen ließ, um in dieser Phase nochmals modelliert zu werden, so daß ein und dasselbe menschliche Herz wohl zum erstenmal im diastolischen und systolischen Zustande in seiner äußeren Form aufgehoben werden konnte. Die Präparate befinden sich in der Kriegspathologischen Sammlung der Kaiser-Wilhelms-Akademie (Katalognummer 3417, 3418 und 3419*).

In folgendem seien kurz die Angaben aus dem Sektionsprotokoll wiedergegeben, die über die Gewinnung der Modelle berichten.

Die Sektion wird etwa 10 Minuten nach dem erfolgten Tode vorgenommen, das Herz möglichst schnell freigelegt. Dasselbe ist auffallend groß, anscheinend stark mit Blut gefüllt und dabei völlig schlaff. Nach Unterbindung der unteren und oberen Hohlvene werden Herz und Lungen herausgenommen und etwa 10—12 Minuten nach erfolgtem Tode wird das Herz im Freien bei einer Morgentemperatur von 17° von Herrn Zahnarzt *Salzmann* in Gips von 25—27° abgegossen. Der Gipsabguß dauert etwa 10 Minuten. Das aus dem Gips herausgenommene Herz ist noch weich und noch ebenso gefüllt wie vorher. Es wird jetzt in ein Wasser von 56° gebracht und bleibt hier etwa 20 Minuten. Darauf zeigt das Herz hochgradige Starre. Das Herz wird jetzt unter Durchschneidung aller Gefäße von den Lungen abgetrennt; es entleert sich reichlich dunkles, flüssiges Blut. Das Herz ist, wenigstens für das bloße Auge, verkleinert und in allen Durchmessern verkürzt, außer dem Dickendurchmesser (frontodorsal), welcher erheblich vermehrt ist.

Wenn auch ohneweiters zugegeben werden muß, daß das Modell des diastolischen Herzens durch den Druck der Gipsmasse sich in seiner Form verändert haben mag, daß der Tonus der Herzmuskulatur fehlte, daß der Coronarkreislauf aufgehört hatte, und was man sonst noch für Einwände erheben will, und wenn man für das Modell des wärmestarrten Herzens die Fehler in Betracht zieht, die ich vorher erwähnt habe, so bleibt doch der Wert des Materials insofern ein großer, als man an demselben Organ die sicher noch diastolische Phase und die der Systole möglichst nahekommende Phase grob anatomisch verfolgen kann. Der Wert der Beurteilung wird weiter dadurch erhöht, daß an den Gipsmodellen die Gefäße sich ziemlich deutlich ausprägen, so daß an ihnen die Abgrenzung der Herzabschnitte und die Verschiebung derselben bei der Systole nachgeprüft werden kann. Ganz abgesehen

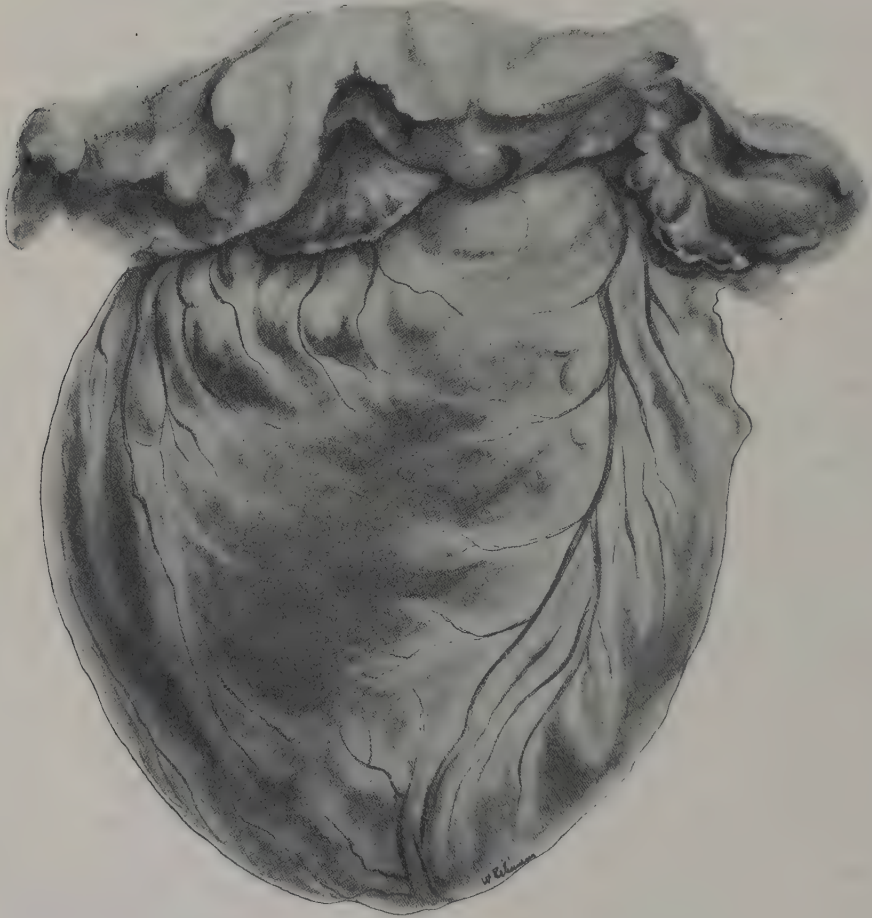
* Die Obduktion wurde von Herrn Geheimrat *Aschoff*, Freiburg, ausgeführt, welcher auch die Herstellung der Modelle, die nach seinen Angaben von Herrn Zahnarzt *Salzmann* angefertigt wurden, veranlaßte und mir das Material freundlichst zur Bearbeitung überließ.

davon ist, wie ich glaube, überhaupt die Beobachtung eines noch diastolischen menschlichen Herzens eine große Seltenheit. Wir selbst hatten nur dreimal Gelegenheit, bei Frühsektionen völlig diastolische Herzen zu beobachten, während partielle Diastole uns häufiger zu Gesicht kam. Unsere Beobachtungen haben aber sicher ergeben, daß das menschliche Herz in Diastole stirbt. Es hat sich nur bisher noch kein Modus finden lassen, das diastolische Herz als Präparat zu fixieren. Die Totenstarre, welche nach 15—20 Minuten (im Sommer früher als im Winter) eintritt, bringt unwiderruflich eine an die systolische Form erinnernde Umbildung des Herzens zuwege. Das geschieht auch, wenn man das blutgefüllte Herz an seinen großen Gefäßen unterbindet, da das Blut einfach in die Vorhöfe ausweicht. Man sieht an solchen Herzen daher nach Eintritt der Totenstarre den Herzbuckel, die schnabelförmige Abbiegung der Herzspitze, und andere auf systolische Konfiguration hinweisende Merkmale, die es deutlich machen, daß trotz Abbildung der diastolische Zustand verlassen ist. Ebenso wie die Totenstarre wirkt leider auch der Reiz etwaiger Fixierungsflüssigkeiten, wie wir gesehen haben. Ein diastolisches lebenswarmes Herz, in Formalin von Körpertemperatur gebracht, nimmt sofort die mehr systolische Form an. Ob es gelingen wird, ein diastolisches Herz durch Gefrierenlassen über den Zeitpunkt der Totenstarre hinwegzubringen und in seiner diastolischen Form zu erhalten behufs nachträglicher Fixierung, wäre noch eines Versuches wert. Für uns hat sich die Gelegenheit dazu nicht mehr geboten.

Wenn man die Modelle des von mir erwähnten Herzens vergleicht (Tafel II, Fig. 1 u. 2), so fällt der Größenunterschied in den beiden Herzphasen sofort in die Augen, so daß man überhaupt an zwei verschiedene Herzen denken möchte. Selbst wenn man annimmt, daß das diastolische Herz durch das Auflegen der Gipsmasse etwas plattgedrückt wurde, bleibt der Größenunterschied noch ein beträchtlicher. Das diastolische Herz (Fig. 8) stellt einen an der Spitze sanft abgerundeten Sack dar, an dem die Konturen der Herzabschnitte sehr wenig hervortreten und eigentlich nur durch die Gefäße bezeichnet werden. Am deutlichsten prägt sich wohl noch die vordere Wand des Conus pulmonalis aus. Auffallend ist die starke Ausbuchtung der seitlichen Wandabschnitte, die gegen die taillenartige Einschnürung an der Kammerbasis in kreisförmiger Linie vorspringen. Betrachtet man das Herz von vorne, so drängt sich in etwa $\frac{2}{3}$ der Schaufläche der Bereich des rechten Ventrikels vor, an dem der linke Ventrikel calottenartig angeheftet ist. An der Rückseite des Herzens (Fig. 9) zeigt sich gegenüber der Vorderseite, die gleichmäßig flach gewölbt ist, eher eine muldenartige Eindellung, die aber nur den linken Ventrikel betrifft und von der hinteren, von der Basis zur Spitze ziehenden Gefäßfurche nicht ganz bis zur linken Herzkante und nicht ganz bis zur Spitze reicht. Die Mulde kommt dadurch zu stande, daß die linke Herzkante ein wenig nach hinten gebogen zu sein scheint. Wieweit Kunstprodukte dabei mitwirken, kann nicht sicher entschieden werden; doch ist so viel sicher, daß die ganze hintere Seite des Herzens flach bleibt, sich jedenfalls nicht in dem Maße auswölbt

wie die vorderen und seitlichen Abschnitte. Im Gegensatz zu vorn nimmt hinten der linke Ventrikel etwa $\frac{2}{3}$ der Schaufläche in Anspruch. Vergleichen wir damit die grobe Form des systolischen Modells (Fig. 10), so sehen wir die sackartige, weich begrenzte, an der Spitze sanft gerundete Kontur in eine mehr tropfen- oder birnenförmige Gestalt übergehen. Dabei scheint nicht nur

Fig. 8.



Diastolisches menschliches Herz, 15 Minuten nach dem Tode in Gips modelliert; Vorderansicht.

eine Verkürzung im Längendurchmesser, sondern, selbst wenn man ein Plattdrücken des diastolischen Herzens annimmt, eine erhebliche Verkürzung des Breitendurchmessers, dagegen eine Zunahme des Tiefendurchmessers eingetreten zu sein. Die Maße folgen weiter unten. Die Konturen der Herzkanten sind nicht halbkreisförmig, wie am diastolischen Herzen, sondern mehr steil verlaufend, nach der Spitze zu sich schnell verjüngend. Die Spitze selbst, die am diastolischen Herzen eine flache Bogenlinie bildet mit einem wenig

vorspringenden Kulminationspunkt im Bereiche des Zusammentreffens von Kammerseptum und Herzwänden und eine fast gleichmäßige Beteiligung an der Spitzenbildung vom rechten und linken Ventrikel andeutet, prägt sich am systolischen Herzen als mehr scharf gewinkelt aus, wobei der Winkel ungefähr

Fig. 9.

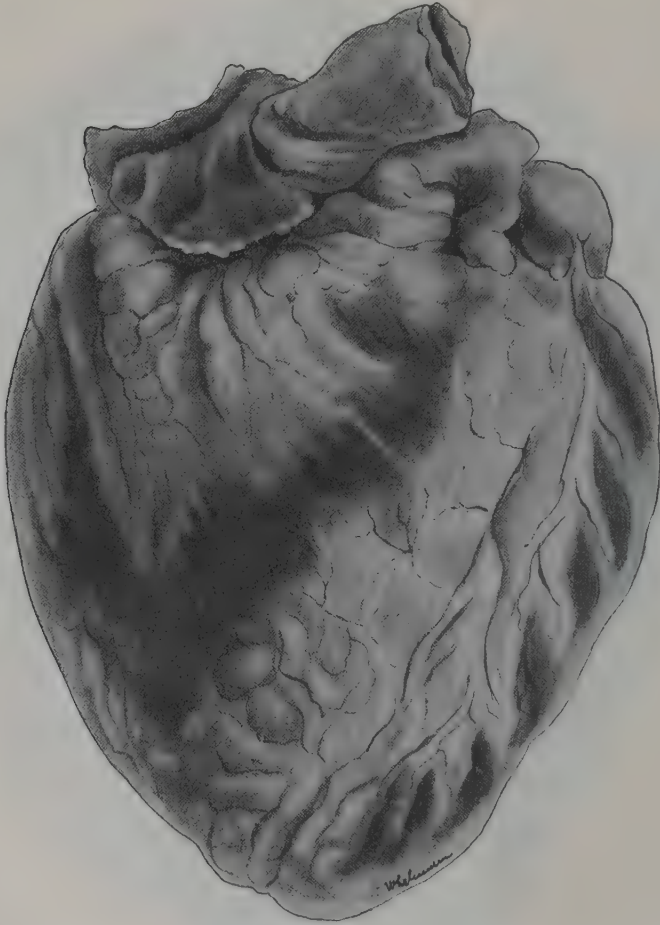


Diastolisches menschliches Herz, 15 Minuten nach dem Tode in Gips modelliert; Rückansicht.

ein rechter oder noch kleinerer ist. Hier scheint auch der linke Ventrikel allein die Spitze zu beherrschen, da der rechte Ventrikel im Spitzenteil scharf gegen das Septum nach oben gezogen ist. An der Hinterseite (Fig. 11) bleibt eine dellenförmige Einbuchtung neben der Interventrikularfurche bestehen, die aber sehr verschmälert ist. Weiterhin macht sich die Umformung dadurch

geltend, daß eine gewisse Wulstung der Muskelmassen zutage tritt und Drehungen der Herzabschnitte sich einstellen. So wölbt sich um die ganze Basis, die an und für sich erheblich zusammengeschnurrt ist, die Muskulatur polsterartig vor. Diese Vorwölbung, die hauptsächlich hinten und linksseitig auffällt, sitzt aber höher als die ballonartige Auftreibung der Kammern etwa

Fig. 10.



Systolisches menschliches Herz, 20 Minuten nach dem Tode durch Einbringen in Wasser von 56° aus dem diastolischen in den wärmerstarren Zustand überführt; Vorderseite.

in der Mitte beim diastolischen Herzen. An der vorderen Seite springt der Conus pulmonalis zwischen rechtem Herzohr und Interventrikularfurche als länglicher Wulst heraus. Von der Mitte der Interventrikularfurche abwärts, u. zw. links neben ihr bis zur Spitze herunter wölbt sich die linke Kammerwand nach vorne und zeigt 3—3½ cm oberhalb der Spitze, ca. 2½ cm nach links von der Interventrikularfurche den als Herz buckel bekannten prominenten Höcker, der klinisch als „Spitzenstoß“ bezeichnet wird. An der Rückseite wölben sich die

Fig. 1



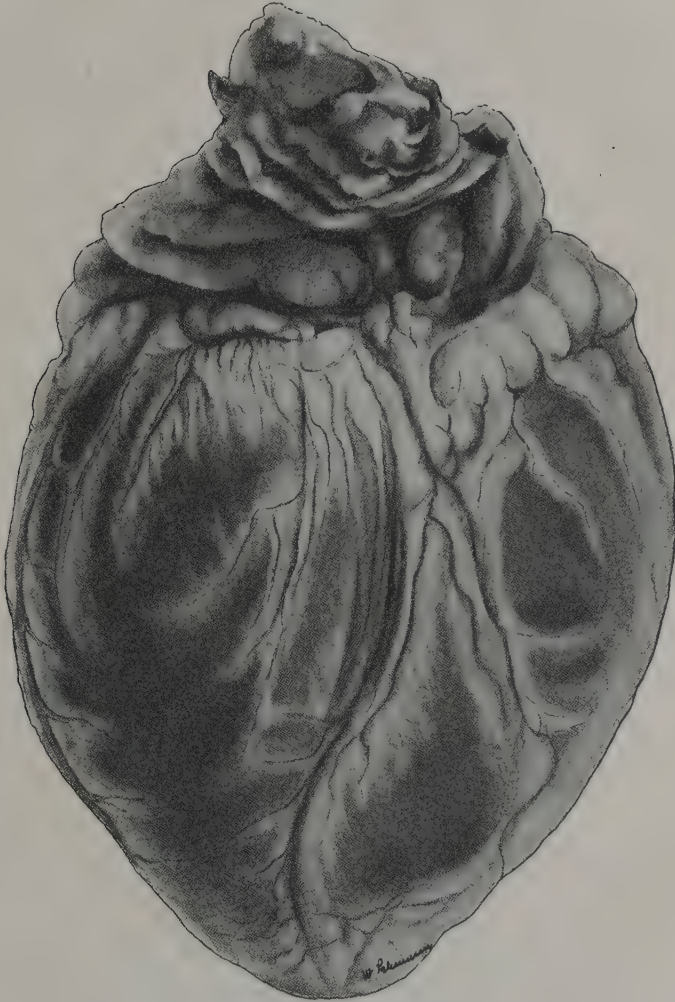
Fig. 2.



Gipsmodelle vom Herzen eines Erwachsenen im diastolischen und systolischen Zustand; Vorder- und Rückansicht.

äußeren $\frac{2}{3}$ der linken Ventrikelwand nur mäßig hervor, aber doch so, daß sie eine gewisse Abgrenzung der etwa fingerbreiten Delle neben dem Septum bilden. Die tiefste Stelle der Delle entspricht ungefähr der Ansatzlinie des Septums, neben welchem rechterseits die Ventrikelwand nur wenig das Niveau über-

Fig. 11.

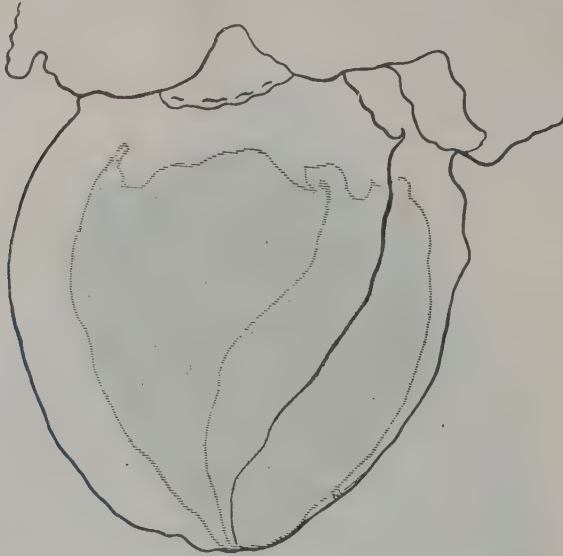


Systolisches menschliches Herz, 20 Minuten nach dem Tode durch Einbringen in Wasser von 56° aus dem diastolischen in den wärmestarrten Zustand überführt; Rückansicht.

ragt. Der ganze Spitzenteil ist vom Buckel abwärts schnabelförmig nach hinten abgebogen, wobei allerdings erwähnt werden muß, daß der abgebogene, die letzte Spitze bildende Abschnitt, der am systolischen Herzen nach hinten unten zeigt, zum großen Teil aus dem hier besonders reichlichen Spitzenfettpolster besteht und daß die eigentliche muskulöse Spitze nicht die scharfe Biegung mitmacht.

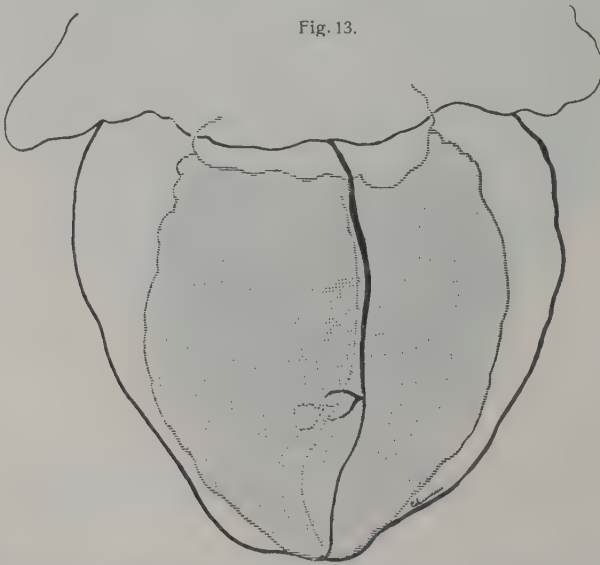
Als besonders charakteristische Veränderung muß die gegenseitige Verdrehung der einzelnen Herzabschnitte gegeneinander bezeichnet werden;

Fig. 12.



Schematische Einzeichnung der Vorderansicht des systolischen Herzens (. . .) in die Vorderansicht des diastolischen Herzens. Die Herzspitzen sind zusammengelegt.

Fig. 13.



Schematische Einzeichnung der Rückansicht des systolischen Herzens (. . .) in die Rückansicht des diastolischen Herzens. Die Herzspitzen sind zusammengelegt.

das zeigt sich zunächst in der Veränderung bei der Beteiligung der einzelnen Kammerabschnitte an den vorderen und hinteren Schauflächen. Während wir am diastolischen Herzen sahen, daß bei Betrachtung von vorne

der rechte Ventrikel etwa $\frac{2}{3}$, der linke etwa $\frac{1}{3}$ der Schaufläche einnahm und auf der Rückseite das Verhältnis etwa umgekehrt war, sieht man am systolischen Herzen das Verhältnis in dem Sinne geändert, daß die Ventrikel sich ungefähr zu gleichen Teilen an der Schaufläche beteiligen oder doch dem rechten vorn, dem linken hinten nur noch ein geringes Übergewicht zukommt. Am auffälligsten macht sich aber die Verdrehung an dem Gefäßverlauf der großen Herzgefäße, die längs des Septums vorn und hinten zur Spitze ziehen, bemerkbar. Während am diastolischen Herzen ein fast gestreckter Verlauf der Gefäße kenntlich ist, zeigen sie am systolischen Herzen eine deutliche S-förmige Krümmung, vor allem an der Vorderseite, weniger an der Hinterseite (Fig. 12 u. 13). Die Krümmung der Gefäße deutet an, daß rechter und linker Ventrikel sich in der Systole derart gegeneinander verschieben oder zu verschieben scheinen, daß die Spitze des linken Ventrikels nach rechts, die Basis nach links gedrängt wird und am rechten Ventrikel umgekehrte Verhältnisse Platz haben, wobei noch ein Heraufrücken des rechten Ventrikels nach innen oben und ein Herunterrücken des linken Ventrikels nach innen unten (alles nur als Verschiebung der Herzteile gegeneinander gedacht) hinzukommt.

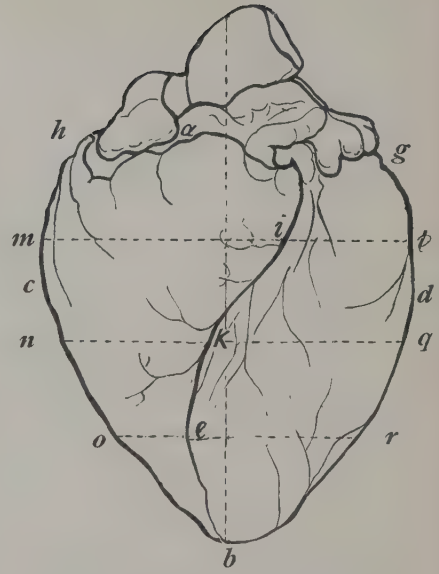
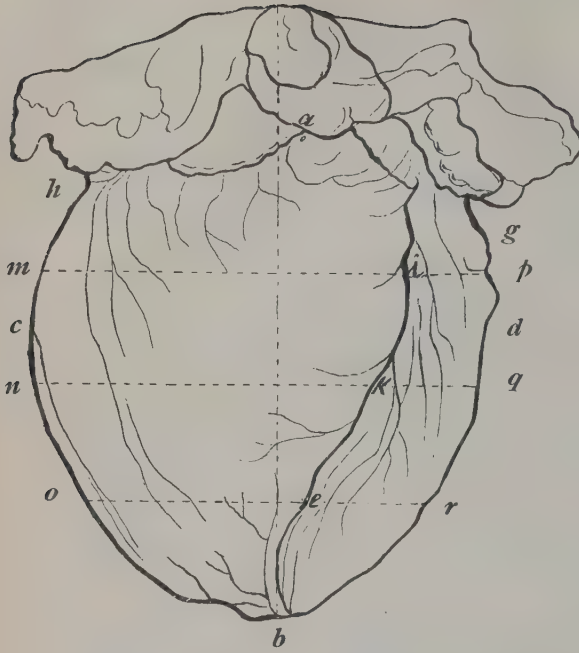
Die im folgenden wiedergegebenen Herzmaße machen keinen Anspruch darauf, den tatsächlichen Verhältnissen voll zu entsprechen, da die Modelle einmal die schon erwähnten Unsicherheiten aufweisen, anderseits auch nur relativ roh sind und besonders im Vorhofs- und Atrioventrikularfurchengebiet Einzelheiten schlecht oder gar nicht erkennen lassen, die als Fixpunkte für Messungen in Frage kommen. Trotzdem sind sie sicher nicht ohne Wert, da sie allgemeine Anhaltspunkte für die Größenverhältnisse des Herzens in beiden Herzphasen und für die Kammern gesondert geben. Die Fixpunkte für die Messungen wurden so gewählt, daß sie für das systolische und diastolische Herz möglichst sicher dieselben waren. Sie sind auf den beigegebenen schematischen Figuren mit Buchstaben angedeutet (Fig. 14—17).

Welche Schlußfolgerungen kann man auf Grund dieser gefundenen Herzmaße auf die Umformung des Herzens machen?

Es sei vorweg bemerkt, daß die gewonnenen Maße (Fig. 18 u. 19) keinen Anspruch auf Exaktheit machen können; dazu sind die Gipsmodelle zu roh und die einzelnen Herzabschnitte in bezug auf die Meßpunkte nicht genau zu fixieren. Immerhin sind die größten Veränderungen in der äußeren Umformung des Herzens in genügender Weise herauszulesen, selbst wenn man Fehlerquellen annehmen will und muß.

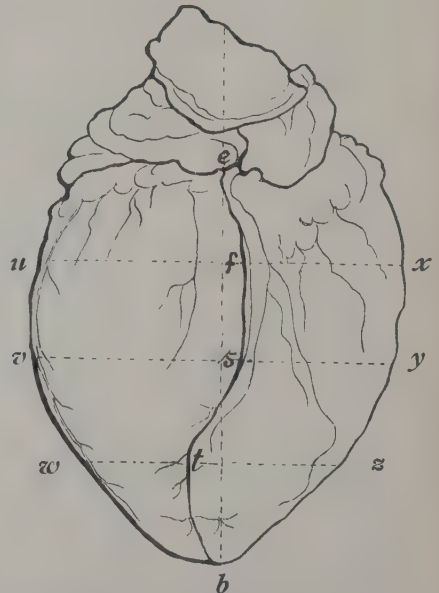
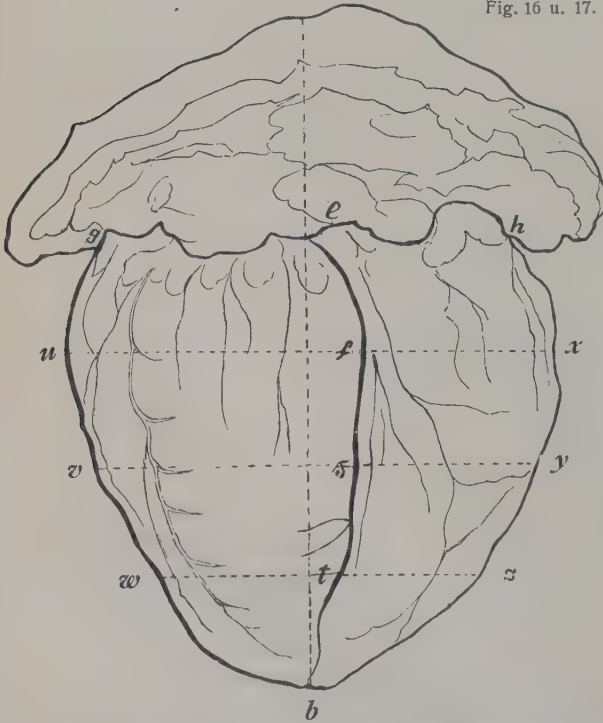
So ergibt sich, daß die Kammerlänge sich um ein Bedeutendes verkürzt (2·3 cm), wenn man den senkrechten Abstand vom oberen Rande des Conus pulmonalis bis zur Herzspitze in Betracht zieht; daß dagegen die Verkürzung nur eine geringe ist (vielleicht noch im Bereich der Fehlerquellen), wenn man die Rückseite der Ventrikel ins Auge faßt (0·7 cm). Daraus muß hervorgehen, daß einmal die systolische Verkürzung der gesamten Kammermaße tatsächlich eine nur sehr geringe ist, ja vielleicht überhaupt nicht stattfindet und daß wir uns bei den am schlagenden Herzen gemachten Beobachtungen, wie *Krehl*

Fig. 14 u. 15.



Schema der Vorderansicht des diastolischen und systolischen Herzens. Die Buchstaben bezeichnen die Maßpunkte für die in der Tabelle (S. 53) angeführten Herzmaße.

Fig. 16 u. 17.



Schema der Rückansicht des diastolischen und systolischen Herzens. Die Buchstaben bezeichnen die Maßpunkte für die in der Tabelle (S. 53) angeführten Herzmaße.

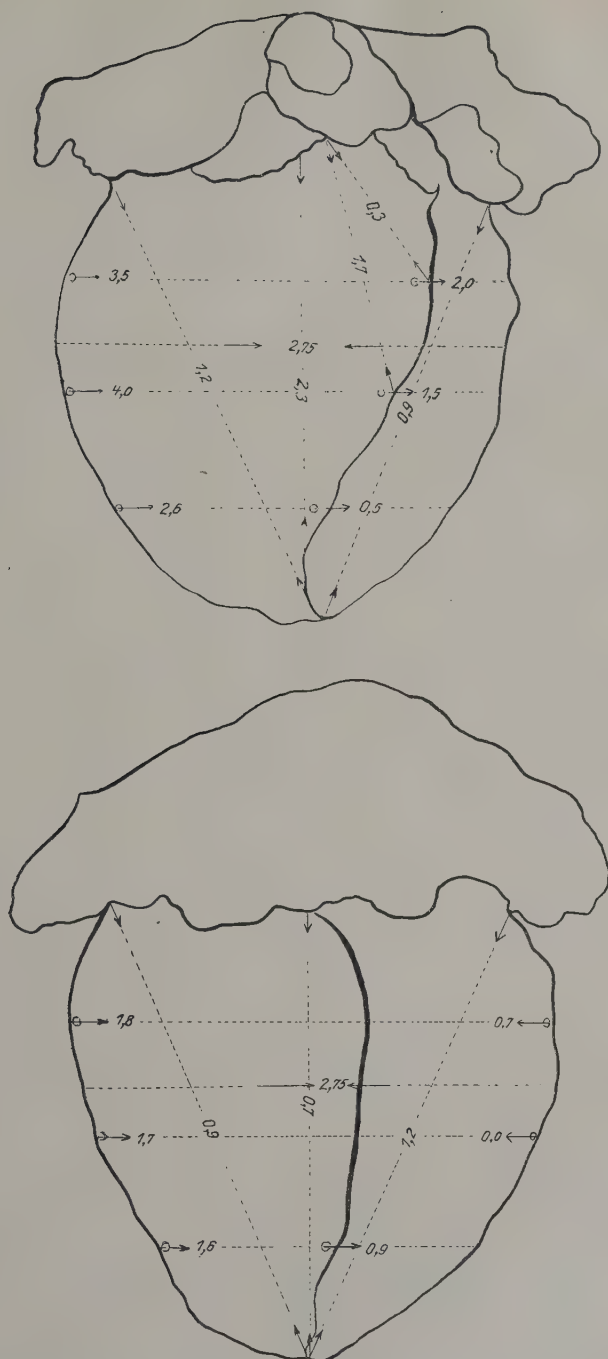
ganz richtig hervorhebt, dadurch täuschen lassen, daß der Conus pulmonalis bei der Systole herabsteigt und eine Verkürzung des Herzens vortäuscht. Wie

	Systolisches Herz	Diastolisches Herz	Buchstabenbezeichnung auf den Fig. 14–17
	Zentimeter		
Länge: Von der Pulmonaliswurzel an der A.V.-Grenze bis zur Spitze. Senkrechter Abstand. Vorderseite	11	13·3	a—b
Dasselbe, über die konvexe Vorderseite mit Bandmaß gemessen. Vorderseite	13	14·5	a—b
Länge: Vom Sulcus coronarius am Abgang der Vena interventr. post. bis zur Spitze. Rückseite	9·5	10·2	e—b
Größte Herzbreite in ca. $\frac{2}{3}$ Höhe der Kammern	9·75	12·5	c—d
Größter Umfang beider Kammern	27·8	31·5	c—d
Größte Dicke der Kammern	8·5	6·5	
Seitenhöhe der Kammern vom Sulcus bis zur Spitze. Senkrechter Abstand. Linke Seite	11·3	12·2	g—b
Desgleichen, rechte Seite	11·3	12·5	h—b
Seitenlänge der Kammern über die konvexe Herzkante mit Bandmaß gemessen (vom Sulcus coronarius bis zur Spitze), linke Seite	15	15	g—b
Desgleichen, rechte Seite	12·5	14·5	h—b
Wandbreite der Kammern an der Vorderseite von der Interventrikularfurche bis zur Herzkante senkrecht auf die Herzachse gemessen:			
Rechter Ventrikel, oberes Viertel	7	10·5	m—i
„ „ Mitte	4·5	8·5	n—k
„ „ unteres Viertel	2·4	5	o—l
Linker Ventrikel, oberes „	4·3	2·3	i—p
„ „ Mitte	5·5	4	k—q
„ „ unteres Viertel	5	4·5	l—r
Dasselbe an der Rückseite:			
Rechter Ventrikel, oberes Viertel	4·3	5	f—x
„ „ Mitte	4·7	4·7	s—y
„ „ unteres Viertel	4·4	3·5	t—z
Linker Ventrikel, oberes „	6	7·8	u—f
„ „ Mitte	5·1	6·8	v—s
„ „ unteres Viertel	3	4·6	w—t
Konusbreite zwischen Spitze des rechten Herzohres und Interventrikularfurche, erstes Viertel	4·5	4·8	a—i
Konusbreite zwischen Spitze des rechten Herzohres und Interventrikularfurche, Mitte	6	7·7	a—k
	Kubikzentimeter		Differenz
Wasserverdrängung durch beide Kammern . . . }	360	420	60 cm
	(360)	(430)	(70 „)
	(370)	(450)	(80 „)

aber die Maße weiter zeigen, tritt eine Verkürzung der vorderen Wand tatsächlich ein, wie oben vermerkt im senkrechten Abstand um 2.3 cm , über die konvexe Vorderwand gemessen um 1.5 cm , d. h., daß mit der Verkürzung eine Vorwölbung der Vorderwand Hand in Hand geht, welche die tatsächliche Verkürzung um ein Beträchtliches mildert. Da die Konusbreite nahe der Pulmonalis um ein Weniges abnimmt (0.3 cm) — an einer etwas tieferen Stelle wurden 0.5 cm gemessen —, so muß diese Verkürzung der Vorderwand dem Herabsteigen des Konus, u. zw. nahe seinem Ende gegen die Pulmonalis zu, aber auch einem Zusammenschieben der Vorderwand, etwa in der Mitte der rechten Kammer, zugeschrieben werden, wo ungefähr an der Basis des Conus pulmonalis ebenfalls eine Verschmälerung der Konuswand sich deutlich macht, die von der rechten Herzohrspitze bis etwa zur Mitte der Interventrikularfurche gemessen 1.7 cm beträgt. Daß der Konus herabsteigt, tut sich auch dadurch kund, daß sich an der Atrioventrikularfurche zwischen rechtem Herzohr und rechtem Ventrikel eine bis zu 0.5 cm breite Furche beim systolischen Herzen ausbildet, während am diastolischen Herzen das Herzohr dem Konus unmittelbar anliegt, sich vielleicht noch etwas auf ihn hinaufschiebt. Dabei darf natürlich nicht übersehen werden, daß man diese Furchenbildung ebensogut auf eine Erektion des Herzohres zurückführen kann und daß diese Diastase von Vorhof und Ventrikeln nur mit Vorbehalt in dem angedeuteten Sinne zu verwenden ist.

Wenden wir uns nun der Frage zu, wie sich der Umfang beider Kammern in den verschiedenen Herzphasen verhält, so sehen wir die bemerkenswerte Umfangszunahme von 3.7 cm beim diastolischen Herzen, an der größten Circumferenz des Kammerherzens gemessen. Daß das diastolische Herz in seinem Modell etwas plattgedrückt erscheint, daß man außerdem damit rechnen muß, daß vielleicht während des Transports der Leiche Blut aus dem Herzen geflossen ist, rüttelt nicht so sehr an dem Wert der Umfangszahl für das diastolische Herz, da der Herzmuskel als völlig erschlaffter Muskelsack ohne irgendwelche Contractionerscheinungen vorgefunden wurde und deshalb angenommen werden kann, daß selbst bei Ausweichen von Blut aus den Herzhöhlen kein Nachfolgen der Kammerwand stattgefunden hat, sondern höchstens ein Zusammensinken der kugeligen Gestalt in eine mehr plattgedrückte Form. Das bedingt aber naturgemäß keine Abnahme des Umfanges. Eher stände noch die Frage zur Diskussion, ob wir in dem vorliegenden diastolischen Leichenherzen durch nachfließendes Blut ein überdehntes Herz vor uns haben. Aber auch diese Frage ist wohl mit ziemlicher Sicherheit verneinend zu beantworten, da mir keine Kräfte bekannt sind, physikalische oder physiologische, welche postmortal oder agonal ein Aufpumpen des diastolisch erschlafften Herzmuskels bewirken könnten. Wir können also annehmen, daß die Umfangszahlen einen brauchbaren physiologischen Wert repräsentieren. Sie zeigen uns, wenn man das Längenmaß mit berücksichtigt, daß eine ziemlich erhebliche Volumenzunahme in der Diastole besteht, da auch an tiefer und höher gelegenen Umfangsmaßen entsprechend

Fig. 18 u. 19.



Schematische Darstellung der Vorder- und Rückansicht des diastolischen Herzens. Die durch punktierte Linien verbundenen Pfeile weisen auf Größenschwankungen hin, welche das gemeinsame Kammerherz in der Systole betreffen. Die bei den Pfeilen mit Ringen angeführten Zahlen gelten für die einzelnen Kammern. Dort, wo sich die Kammer in der Systole durch Drehung scheinbar verbreitert, ist der Pfeil auf dem Gefäß der Interventrikularfurche, sonst am Außenrande angebracht.

höhere Zahlen beim diastolischen Herzen herauskommen. Das bestätigt sich auch, wenn man die größten Breiten- und Tiefendurchmesser des Kammerherzens vergleicht. Zwar weist der Tiefendurchmesser des diastolischen Herzens eine Abnahme von 1·5 *cm* gegenüber dem systolischen Herzen auf, was aber zum Teil mit auf die plattgedrückte Form des ersteren bezogen werden muß; dafür zeigt jedoch der größte Breitendurchmesser eine Zunahme von 2·75 *cm*, so daß sich immerhin noch eine beträchtliche Vergrößerung des Herzvolumens, zurückgeführt auf einen bestimmten Querschnitt des Herzens, ergibt.

Mit Rücksicht auf die Annahme von *Keith*, daß die äußeren Abschnitte der Atrioventrikularostien in der Systole tiefertreten, die seitlichen Herzkanten sich also verkürzen müßten und die Ebenen der Ostien sich um den centralen Fixpunkt an der Aortenwurzel „wie eine Tür in den Angeln“ drehen würden, sind die folgenden Herzmaße, die die Herzkanten betreffen, von Wichtigkeit. Sie ergeben nämlich folgendes Besondere: Der senkrechte Abstand, von der Spitze des Herzens nach der äußersten Ventrikelkante in der Atrioventrikularfurche gemessen, ist beim diastolischen Herzen an der linken Seite (12·2 *cm*) fast der gleiche wie rechts (12·5 *cm*). Am systolischen Herzen ergeben sich ebenfalls links und rechts gleiche Werte (11·3 *cm*), die aber gegenüber dem diastolischen Herzen um rund 1 *cm* differieren, woraus sich demnach ergibt, daß tatsächlich eine Verkürzung der Herzkanten, jedenfalls im senkrechten Abstände, sich feststellen läßt. Mißt man die Seitenlängen der Kammern über die konvexen Herzkanten hinweg mit Bandmaß, so ergeben sich, wie die Tabelle zeigt, eigentümliche Zahlen, die aber wahrscheinlich nicht einwandfrei sind, weil an dem etwas zusammengefallenen diastolischen Herzen die Herzkanten seitlich vorgetrieben sind, so daß ich diese Zahlen nicht verwerten möchte. Wenn also eine Verkürzung der Herzkanten als gegeben angenommen werden muß, so fragt es sich noch, wodurch dieselbe hauptsächlich zu stande kommt. Die Ursache dafür ist aus den vorliegenden Zahlen der Herzmaße nicht ohneweiters abzulesen; man gewinnt aber Anhaltspunkte dafür, wenn man die Modelle vergleichsweise von der Seite her betrachtet. Es zeigt sich nämlich dabei, daß anscheinend nicht nur der Conus pulmonalis an der Vorderseite tiefertritt, was im Modell deutlich zu erkennen ist, sondern auch die links und rechts von ihm gelegenen basalen Kammerabschnitte, vor allem in der Nähe des linken Herzhohres bzw. der Aortenausflußbahn. Es findet dabei eine Vorwölbung der basalen Kammerabschnitte statt, die mit einem Hineinziehen der Muskelwand in die Atrioventrikulartrichter Hand in Hand zu gehen scheint. Das ist am ausgesprochensten an der Vorderseite und am linken Ventrikel stärker als am rechten. Es scheint daher die Ebene der Atrioventrikularostien nicht nur seitlich nach den Herzkanten zu, sondern auch vorn gegen die Spitze zu sich zu senken.

Bei der allgemeinen Beschreibung der Formänderung in der Systole ist schon darauf hingewiesen worden, daß die Beteiligung der Kammern an der vorderen und hinteren Schaufäche des Herzens bei der Systole sich ändert; dafür geben die folgenden Zahlen anschauliche Belege, trotzdem sie nicht sehr

präzis ausfallen konnten, da es außerordentlich schwer ist, an den beiden Gipsmodellen ganz entsprechende Meßpunkte festzulegen. Das diastolische Herz zeigt an der Vorderseite, an der Grenze gegen das obere und untere Viertel und in der Mitte gemessen, von oben nach unten eine ungefähre Breite der rechten Kammer von 10·5, 8·5 und 5·0 *cm*. Das systolische Herz hat demgegenüber im rechten Ventrikel vorn eine Kammerbreite von 7, 4·5 und 2·4 *cm*. Daraus ergibt sich in der Systole eine erhebliche Verschmälerung des Kammeranteils der rechten Kammer bei der Ansicht von vorne. Beim linken Ventrikel betragen die Maße für das diastolische Herz von oben nach unten 2·3, 4·0 und 4·5 *cm*, denen am systolischen Herzen 4·3, 5·5 und 5·0 *cm* gegenüberstehen, so daß trotz der Systole bei der Ansicht von vorne eine Zunahme des linken Kammeranteils festzustellen ist. Umgekehrt ist das Verhalten an der Rückseite des Herzens. Hier sind die Breitenmaße des rechten Ventrikels 5·0, 4·7 und 3·5 *cm* am diastolischen Herzen, gegen 4·3, 4·7 und 4·4 *cm* am systolischen Herzen. Es ist also, abgesehen von den obersten Abschnitten, in der Systole keine Verschmälerung, sondern, besonders in den unteren Abschnitten, eine Verbreiterung der hinteren Schaulfläche der rechten Kammer eingetreten. Der linke Ventrikel hat hinten im diastolischen Zustande die Breitenmaße 7·8, 6·8 und 4·6 *cm* gegenüber 6·0, 5·1 und 3·0 *cm* am systolischen Herzen, woraus sich eine beträchtliche Abnahme in der Kammerbreite an der hinteren Schaulfläche des linken Ventrikels ergibt. Durch diese Maße wird anschaulich das bestätigt, was ich schon vorher bei der einfachen Betrachtung der beiden Herzmodelle anführte, daß nämlich bei der Systole gleichzeitig mit der allgemeinen Contraction der Muskelmassen eine Torquierung beider Kammern umeinander erfolgt, die im gleichen Sinne wie die Torquierung der Aorta und Pulmonalis zur Geltung kommt. Das Herüberziehen des linken Ventrikels an der vorderen Seite von links nach rechts scheint dabei vorwiegend darauf zurückzuführen sein, daß das diastolisch halbkreisförmig gerundete Kammerseptum sich verkürzt und die Anheftungslinien der Kammerscheidewand in der vorderen und hinteren Interventrikularlinie einander genähert werden. Da nun bei der Diastole die vordere Anheftungslinie im Bereiche der vorderen Interventrikularfurche verhältnismäßig viel weiter exzentrisch nach links, wenigstens in den oberen Abschnitten, gelegen ist als die der hinteren Ventrikularfurche entsprechende hintere Anheftungslinie, und weil, wie sich auf Querschnitten durch das Herz zeigt, die letztere ziemlich in der Mitte liegen bleibt, muß durch systolische Verkürzung des Kammerseptums eine Verziehung der vorderen Anheftungslinie im Bereiche der vorderen Interventrikularfurche nach rechts hinüber erfolgen. Dadurch ergibt sich schon ein Hervorholen des linken Ventrikels nach vorn rechts.

Diese Bewegung wird noch unterstützt durch die besondere Konuscontraction. Wie die letzten Maße zeigen, verschmälert sich der Konus als besonderer Abschnitt der rechten Kammer. Sein eigenes Verhalten wird erklärlich, wenn man sich daran erinnert, daß im rechten Ventrikel im Gegensatz zu dem linken durch die *Crista supraventricularis* eine anatomische Unter-

teilung von Ein- und Ausflußbahn besteht, und ich mache darauf aufmerksam, daß diese Unterteilung sich am systolischen Herzen auch äußerlich schon kenntlich macht, indem man nämlich unter der Basis des rechten Herzohres, etwa dort, wo die Crista supraventricularis verläuft, eine deutliche Einkerbung an der Basis der rechten Kammer äußerlich beobachten kann, die dem oberen Rande der Konusbasis entspricht und welche am diastolischen Herzen kaum angedeutet ist. Der untere Rand der Konusbasis liegt etwa in der Mitte der vorderen Atrioventrikularfurche an der Ursprungsstelle des Moderatorbandes. Wie die Konusmaße nun zeigen, ist die systolische Verkürzung der Konusbreite in der Nähe der Pulmonalis nur eine geringe, dagegen eine ziemlich beträchtliche an der Basis. Auch dadurch wird das Hervorholen der linken Kammer nach vorn zum mindesten mit unterstützt oder doch der linke Ventrikel auf Kosten des rechten, der sich hier an der Konusbasis stark verschmälert, mehr hervortretend. Ich glaube auch, daß gerade die starke Zusammenziehung der Konusbasis mit die Ursache dafür ist, daß wir, wie eingangs erwähnt, die S-förmige Krümmung der längs der vorderen Interventrikularfurche verlaufenden Gefäße am systolischen Herzen beobachten; jedenfalls liegt der Scheitelpunkt der stärksten Krümmung gerade am unteren Ende der Konusbasis. Verstärkt wird der Eindruck, daß die linke Kammer in der Systole in stärkerem Maße an der Vorderseite sich vordrängt, durch den schon erwähnten Herzbuckel, auf den noch später zurückzukommen sein wird.

An der Rückseite sind die Verschiebungen in der Beteiligung der Kammerabschnitte an der hinteren Schaulfläche nicht so hochgradige und erklären sich ungefähr, zumal für den linken Ventrikel, schon aus der systolischen Muskelzusammenziehung; das Hervorholen des linken Ventrikels nach vorn macht sich daher, da es sich ja um eine torquierende Bewegung handelt, hauptsächlich nur am Spitzenteil bemerkbar, der sich in der Systole an der Rückseite stark verjüngt und, wie mir scheint, abgesehen von der drehenden Hervorholung des linken Ventrikels nach vorn, hauptsächlich die Bildung des Herzbuckels mitbewirkt. Daß dann die rechte Kammer im unteren Abschnitt an der Hinterseite, wie die Maße zeigen, mehr vorliegen muß, ist selbstverständlich.

Noch ein Wort über die Kapazität der Kammern, die ich durch Wasserverdrängung an der Hand der Modelle festzustellen versuchte. Auch dabei war ein genaues Arbeiten deshalb nicht möglich, weil die Ventrikelbasis keine gerade Ebene bildet und die Herzohren über die Basisebene nach abwärts in den Bereich der Ventrikel reichen. Die Werte sind deshalb nur mit Vorbehalt als gültige anzusehen und sollen nur ungefähr, im Vergleich mit Angaben früherer Autoren, einen Anhaltspunkt für die Blutmenge geben, die mit der Systole aus dem Herzen getrieben wird. Es ist außerdem zu berücksichtigen, daß beim Transport der Leiche Verschiebungen der Blutmengen vorgekommen sein können oder daß bei Anfertigung des Gipsmodells sich gewisse Blutmengen aus den Ventrikeln in die Vorhöfe gedrängt haben. Diese Fehler würden nur das diastolische Herz betreffen. Es ist auch bei der Anfertigung

der Gipsmodelle möglichst Rücksicht darauf genommen, Blutverschiebungen zu vermeiden, und es sei nochmals erwähnt, daß die vollständig erschlafften diastolischen Kammern prall gefüllt waren. In der Literatur sind die Angaben, die ich über die Kapazität der Kammern finden konnte, sehr auseinandergehend. Es finden sich Werte: 187·5 g, 69 cm³, 70 cm³, 60 cm³; nach *Kraus* soll jeder Ventrikel ca. 45 cm³ fassen, so daß zusammen 90 cm³ anzunehmen wären. Nach *A. Fick* beträgt die Auswurfmenge ca. 66 cm³ für einen Ventrikel. Bei meinen Zahlen sind die Werte in Klammern eingefügt, die wegen der vorher angegebenen Schwierigkeiten einer genauen Messung infolge etwas tieferen Eintauchens gewonnen wurden. Am häufigsten ergab sich bei wiederholten Messungen der Wert von 60 cm³ Wasserverdrängung für beide Kammern. Damit zeigt sich, daß die früher angegebenen Werte, mit Ausnahme des ersteren und des von *A. Fick* angegebenen, der Wirklichkeit wohl ziemlich nahe kommen, und wenn wir die Möglichkeit der Blutverdrängung an unserem diastolischen Herzen mit ins Auge fassen, werden Werte von 70–80 cm³ für das Fassungsvermögen beider Kammern (abgesehen vom Residualblut) ungefähr als Norm aufzustellen sein.

Von weit größerem Interesse als die äußere Umgestaltung des Herzens ist die Umformung der Ventrikelhöhlräume in der Systole, und es ist nur natürlich, wenn frühere Forscher gerade dieser Frage ihr weitgehendstes Interesse widmeten. Daß aber diese Frage gerade viel schwieriger zu lösen ist als die Beschreibung der äußeren Form, liegt auf der Hand, weil kein Vergleichsmaterial zwischen denselben systolischen und diastolischen Herzen zu erhalten ist und weil ferner durch das notwendige Eröffnen der Herzhöhlen sehr leicht Zusammenhänge zerstört werden, die für das Verständnis notwendig sind. Legt man aber gar verschiedene Schnitte, was unvermeidlich ist, durch das Herz, so wird die Beurteilung über die Zusammenhänge der einzelnen Innenabschnitte noch schwieriger. Der Kardinalpunkt bleibt aber immer der, daß ein echt diastolisches Herz aus den eingangs erwähnten Gründen nicht als Präparat konserviert werden kann. Für die Beschreibung der äußeren Form genügte im gewissen Sinne das Modell, wie wir es in der ersten Viertelstunde nach dem Tode an dem echt diastolischen Herzen fixieren konnten. Es könnte also nur am ungehärteten Präparat unmittelbar nach dem Tode eine wirkliche Beschreibung des echt diastolischen Herzens in seinem Innenbau erfolgen; aber auch da würde es mir noch zweifelhaft erscheinen, ob nicht der Reiz der Schnitte, die Zertrennung der noch contractilen überlebenden Muskelfasern zu Formveränderungen führen müßte, die die Diastole verwischen, ganz abgesehen davon, daß die nicht fixierten Herzwände sich in ihrer Form nicht halten würden und daß überhaupt in der kurzen Zeit bis zum Eintritt der systolischen Form durch die Totenstarre keine genügende Beschreibung der Innenarchitektur gegeben werden kann.

Wir sind deshalb für die diastolische Form auf Herzen angewiesen, die durch Flüssigkeitsdruck vor Eintritt der Totenstarre oder nach Lösung derselben passiv erweitert sind. Beide Arten müssen große Fehlerquellen in sich

bergen. Das vor der Totenstarre künstlich dilatierte Herz macht eben hinterher die Totenstarre noch durch und bestrebt sich dabei, trotz des Widerstandes, den die Flüssigkeit bei abgebundenen Gefäßen ihm bietet, sich systolisch umzuformen. Diese Systole läßt sich dann auch immer erkennen, vor allem an der Spitze des Herzens. Da ferner ein Ausweichen der Flüssigkeit aus den Ventrikelhohlräumen infolge Überwiegens der Ventrikelmuskelkraft in die sehr nachgiebigen und muskelschwachen Vorhöfe erfolgt, ist nicht zu vermeiden, daß eine gewisse Contraction der Ventrikel im systolischen Sinne bei Eintritt der Totenstarre trotz praller Füllung des Herzens und Abbindens der Gefäße erfolgt.

Es erscheint daher fast noch zweckmäßiger, für die diastolische Form die Herzfüllung nach Lösung der Totenstarre zu wählen; man vermeidet damit die nachträgliche Contraction. Doch ist die Gewähr dafür, daß man damit ein der diastolischen Form sich näherndes Herz erhält, auch nur eine geringe, da man das Herz aus der totenstarr-systolischen Form befreien muß, wobei es immer ungewiß bleibt, ob man alle Umformungen der Systole beseitigen kann und überhaupt keinen Anhalt dafür hat, wie weit eine dem Physiologischen nahekommende Wiederausdehnung der Muskulatur an allen Stellen erreicht wird.

Diesen Bedenken Rechnung tragend, habe ich für die diastolische Herzform ein Material herangezogen, welches zwar auch nicht einwandfrei ist, aber doch noch eine Sicherheit mehr dafür bietet, daß es der diastolischen Herzform sich nähert. Es sind das die Herzen von Kriegsteilnehmern, die innerhalb der ersten 36 Stunden nach Phosgengasvergiftung gestorben sind. Es hat sich herausgestellt, daß infolge eigenartiger Eindickung des Blutes die Herzen bei der Sektion prall gefüllt, wie in diastolischer Form, gefunden werden. Die Totenstarre macht sich auch bei Härtung der Präparate deshalb weniger bemerkbar, weil das teerartig zähe Blut, das sich als ungeschichteter Cruor in allen Herzhöhlen findet, anscheinend durch die Totenstarre, falls solche sich überhaupt genügend entwickeln sollte, nicht oder nur wenig disloziert wird. Jedenfalls sieht man die Kammern, die linke fast ebenso wie die rechte, prall mit den erwähnten Cruormassen ausgefüllt. Um diesen einzigartigen Befund noch mehr zu sichern, ist bei einer Frühsektion noch besonders verfahren worden, wie aus folgendem Obduktionsteilbericht hervorgehen möge, den ich mitanfüge, weil das betreffende Herz von mir für die Beschreibung des Innenbaues des diastolischen Herzens benutzt worden ist.

Sektion G 14. 23 Jahre alter Soldat.

(Fall von Gasvergiftung 36 Stunden vor dem Tode.)

Das Herz quillt förmlich aus dem Herzbeutel hervor. Es werden sofort alle Vorkehrungen getroffen, um die ab- und zuführenden Gefäße des freigelegten Herzens zu unterbinden, sodann die ganzen Brustorgane in toto entfernt. Die Unterbindung und Isolierung ist 24 Minuten nach dem Tode vollendet. Es werden jetzt 50 cm^3 Joressche Lösung von der Aorta aus in die linke Kammer und 20 cm^3 Joressche Lösung von der Pulmonalis aus in die rechte Kammer injiziert. 35 Minuten nach dem Tode wird das Herz samt Lungen in

Joressche Flüssigkeit eingelegt. Die Unterbindung der Gefäße bleibt bestehen. Das Herz zeigt noch die diastolische Form und fühlt sich, von der leichten Spannung durch Zunahme des Inhaltes abgesehen, weich an. Jedenfalls ist eine Totenstarre noch nicht merkbar. Aus der Diagnose ist noch hinzuzufügen: Herz in Diastole ohne Totenstarre, auffallend pralle Füllung der rechten Herzkammer. Herz zeigt keine Reizbarkeit mehr. Herz, völlig abgebunden, mit *Joresscher* Lösung noch leicht injiziert und dann sofort gehärtet (24 Minuten nach dem Tode; Jahreszeit: September).

Da dieses Herz, selbst wenn es noch das Bestreben zeigte, in Totenstarre überzugehen, sich in seinen Kammerwandungen infolge der eigenartigen zähen Blutbeschaffenheit bei praller Füllung aller Herzhöhlen nach Abbinden sämtlicher Gefäße kaum zusammenziehen konnte und, wenn doch noch ein gewisses Nachgeben des Inhaltes angenommen werden muß, dieses durch das vorherige Einspritzen der *Joresschen* Flüssigkeit bei noch echt diastolisch schlaffem Zustande des Herzens kompensiert sein dürfte, glaube ich, daß wir in diesem Herzen ein Präparat vor uns haben, welches der diastolischen Form so nahe kommt, wie es bisher überhaupt nur zu erreichen war. Wenn auch, wie die Beschreibung zeigt, kein nennenswerter Unterschied gegen die von anderen Autoren beschriebenen, auf anderem Wege gewonnenen diastolischen Herzen besteht und die schönen Figuren von *Krehl* zu Recht bestehen, so halte ich doch die Bestätigung durch dieses besondere, in reiner Diastole gewonnene Präparat nicht für unwichtig.

Die Innenbeschreibung des diastolischen Herzens kann im ganzen kurz gefaßt werden, da das wesentlichste in der allgemeinen anatomischen Beschreibung des Herzzinnenraumes gesagt ist. Es sei deshalb nur auf einiges Besondere hingewiesen.

Auf einem Schnitt, der das Herz in Richtung von der rechten zur linken Herzkante halbiert (Tafel III), sieht man, daß Vorhof und Kammerseptum am diastolischen Herzen in ziemlich gestreckter Richtung von oben nach unten verlaufen und das Herz in räumlich dem bloßen Augenschein nach gleich große Hälften zerteilen. Am Septum ventriculorum ist eine S-förmige Krümmung festzustellen, indem die Spitze des Septums leicht nach rechts, das untere Ende leicht nach links gebogen ist. In die Ventrikel stülpen sich die nach unten breit geöffneten Klappentrichter, an welchen rechterseits die Papillarmuskeln gestreckte Fortsätze bilden. Die Richtung des Klappentrichters und der nach unten zu sich ein wenig nähernden Papillarmuskeln geht von hinten oben außen nach unten vorn innen. Die Klappen bilden gestreckte Flächen mit arkadenförmigen freien scharfen Rändern. Die Klappen berühren nirgends die äußere Wand, sondern sind vielmehr breit von derselben abgehoben. Besonders hinten seitlich beträgt der Abstand des freien Randes der Klappe von der Wand fast 2 cm und nach vorn der Abstand der großen Klappe von der Konuswand 3 cm. Der linke Klappentrichter mit seinen Papillarmuskeln hat eine Hauptrichtung von oben nach unten (das Herz auf die Spitze gestellt gedacht) mit leichter Neigung der Achse von oben außen nach innen und

medial. Auch hier zeigt sich überall ein Abstehen der Klappen von der Kammerwandung, besonders deutlich bei dem großen medialen Segel, welches mit seinem scharfen Rande ca. $1\frac{1}{2}$ cm vom Septum entfernt bleibt.

Über dem rechten Ventrikel wölbt sich der rechte Vorhof derart hinweg, daß die Crista terminalis ungefähr als höchste Kuppe gerade über der Mitte des Klappentrichters liegt, so daß die Contraction dieses stärksten Vorhofsmuskels gerade in der Richtung der Klappentrichterachse wirken müßte. Das gesamte Sinusgebiet mit den einmündenden Venen liegt dabei (für diese Beschreibung ist immer das Herz auf die Spitze gestellt gedacht) hinter dem schräggestellten Vorhofsseptum.

Das trabeculäre Maschenwerk der Kammer zeigt nur flache Vertiefung, wenigstens in den oberen und in den oberen hinteren Abschnitten. Im unteren vorderen Abschnitt der Kammer ist das ganze untere Drittel schwammartig durch ein Balkenwerk ausgefüllt, welches überhaupt keinen größeren Hohlraum frei läßt. Nur nach hinten, im unteren Drittel, werden die Maschenräume etwas größer. Diese schwammartige Ausfüllung der rechten Kammer Spitze schneidet nach oben in Höhe des Moderatorbandes ziemlich scharf quer ab, um in der vorderen Herzhälfte dem großen Hohlraum der Ausreibungsbahn, in der hinteren Hälfte dem Hohlraum des hauptsächlichsten Einströmungsgebietes Platz zu machen. Die Ausfüllung der Spitze, auch am diastolischen Herzen, ist vielfach eine derartige, daß man die ganze Spitze des rechten Herzens nur als einen Komplementärraum, der an der Grenze von Ein- und Ausflußbahn eingeschaltet ist, ansehen möchte. Jedenfalls drängt sich auch schon am diastolischen Herzen der Eindruck in den Vordergrund, daß das Einströmungsgebiet oberhalb des Moderatorbandes sich direkt durch die Grenzscheide in seiner Hauptstromrichtung in das Ausströmungsgebiet fortsetzt. Ein etwas anderes Bild bietet allerdings ein zweites Herz, welches 30 Minuten nach dem Tode diastolisch erschlafft, nach Entleerung des noch völlig flüssigen Blutes in Fixierungsflüssigkeit eingelegt wurde (Sektionsnummer G 10). Wenn auch bei diesem Herzen, welches völlig blutleer war und in dem sich auch nach Eröffnung keine Spur von Blutgerinnseln nachweisen ließ, viel eher eine nachträgliche Contraction durch die Totenstarre oder den Reiz der Fixierungsflüssigkeit erwarten ließ, besteht doch trotzdem noch ein der Diastole stark angenäherter Zustand. Man könnte das Stadium nach dem Bilde, welches das Herz auf dem Durchschnitt bietet (Tafel IV), als diastolisch, im Übergang zur Systole bezeichnen. Auf das Herz wird später noch zurückzukommen sein. Hier interessiert vor allem, im Zusammenhang mit dem vorerwähnten, der Spitzenteil des rechten Ventrikels, der insofern sehr günstig getroffen ist, als der äußere vordere große Papillarmuskel seiner ganzen Länge nach auf dem Herzschnitt geteilt und sein Emporwachsen aus dem Balkenwerk bis weit nach unten zu verfolgen ist. Hier zeigt sich nämlich, daß auch in der Spitze längs des Septums im diastolischen Herzen sich ein etwas breiterer Hohlraum befindet, der mit dem größeren oberen Einströmungshohlraum, wenn auch durch viele Trabekellücken hin-

durch, in Zusammenhang steht und unter dem Moderatorband hindurch mit der Ausflußbahn kommuniziert. Daß alle Wände der Herzhöhle soweit wie möglich im diastolischen Zustande voneinander entfernt sind, erkennt man besonders gut daran, daß in diesen Herzen die sog. falschen Sehnenfäden, besonders die größeren, wie Musiksaiten straff gespannt sind, so in dem letzt-erwähnten Herzen besonders zwischen dem großen Papillarmuskel bzw. dem Moderatorband und dem Septum. Aus der Mitte dieses Maschenwerkes oder leicht exzentrisch nach außen, aber nicht von der Wand, entspringt der große äußere vordere Papillarmuskel, der wie ein isolierter Kegel (in diesem Falle verdoppelt) im Lumen der Kammer emporragt. Nach außen von ihm ist die Herzwand nach vorne hin noch eine Strecke weit trabeculär, im übrigen überblickt man aber durch die Grenzscheide hindurch nach vorn im rechten Ventrikel nur die glatte Ausflußbahn des Konus.

Am linken Herzen gewinnt man am diastolischen Herzen den Eindruck, als wenn der linke Vorhof bei aufrechter Stellung des Herzens förmlich in den linken Ventrikel eingefalzt sei, u. zw. exzentrisch in dem Sinne, daß der Trichter der Mitralklappen an der Hinter- und Außenwand sitzt, während die mediale und Vorderwand für die Ausflußbahn freibleiben. Der trabeculare Abschnitt des linken Ventrikels nimmt hauptsächlich die hintere und noch mehr die Außenwand des linken Ventrikels ein. Die Spitze desselben zeigt zwar auch ein im ganzen feinmaschigeres und dichteres Balkenwerk als die oberen Abschnitte, aber die schwammartige Ausfüllung, wie sie der rechte Ventrikel in der Spitze zeigt, tritt hier am diastolischen Herzen sehr zurück. Auch an der medialen Wand der linken Kammer (Septum) zeigt die untere Hälfte trabeculären Wandbau. Es ist das ungefähr der Abschnitt, welcher bis zur Höhe des Fußpunktes der Papillaren reicht.

Wie im rechten Ventrikel das Moderatorband, ziehen auch hier stärkere Leisten vom Fußpunkt der Papillarmuskeln zum Septum. Die Papillarmuskeln liegen weitab von der Scheidewand, der hintere allerdings sehr viel weniger (ca. $1\frac{1}{4}$ cm) als der vordere (ca. $2\frac{3}{4}$ cm). Der Spitzenteil des linken Ventrikels kommuniziert breit mit den oberen Abschnitten des Einströmungsgebietes. Aus der halben Höhe der Kammerscheidewand zieht ein straffgespannter, $2\frac{1}{2}$ cm langer falscher Sehnenfaden zum Fußpunkt des vorderen Papillarmuskels. Von derselben Stelle des Fußpunktes aus läßt sich ein besonders starker Trabekel hart an der vorderen Commissur des Septums schräg aufwärts zur Pars membranacea verfolgen. Auch vom Fußpunkt des hinteren Papillarmuskels zieht eine schräge, mehr isolierte Muskelleiste nach vorn oben in das Septum hinein, in welchem sie von der Mitte aufwärts subendokardial in der Richtung auf die Pars membranacea noch eine Strecke weit zu verfolgen ist. Der mehr glatte Abschnitt der Ausflußbahn liegt vor allem am Septum in dessen oberer Hälfte und an der Vorderwand im obersten Abschnitt hinter dem großen Mitralissegel.

Für die Beschreibung des systolischen Umbaues des inneren Herzens wurde hauptsächlich das Herz D 8, von welchem die Herzmodelle stammen,

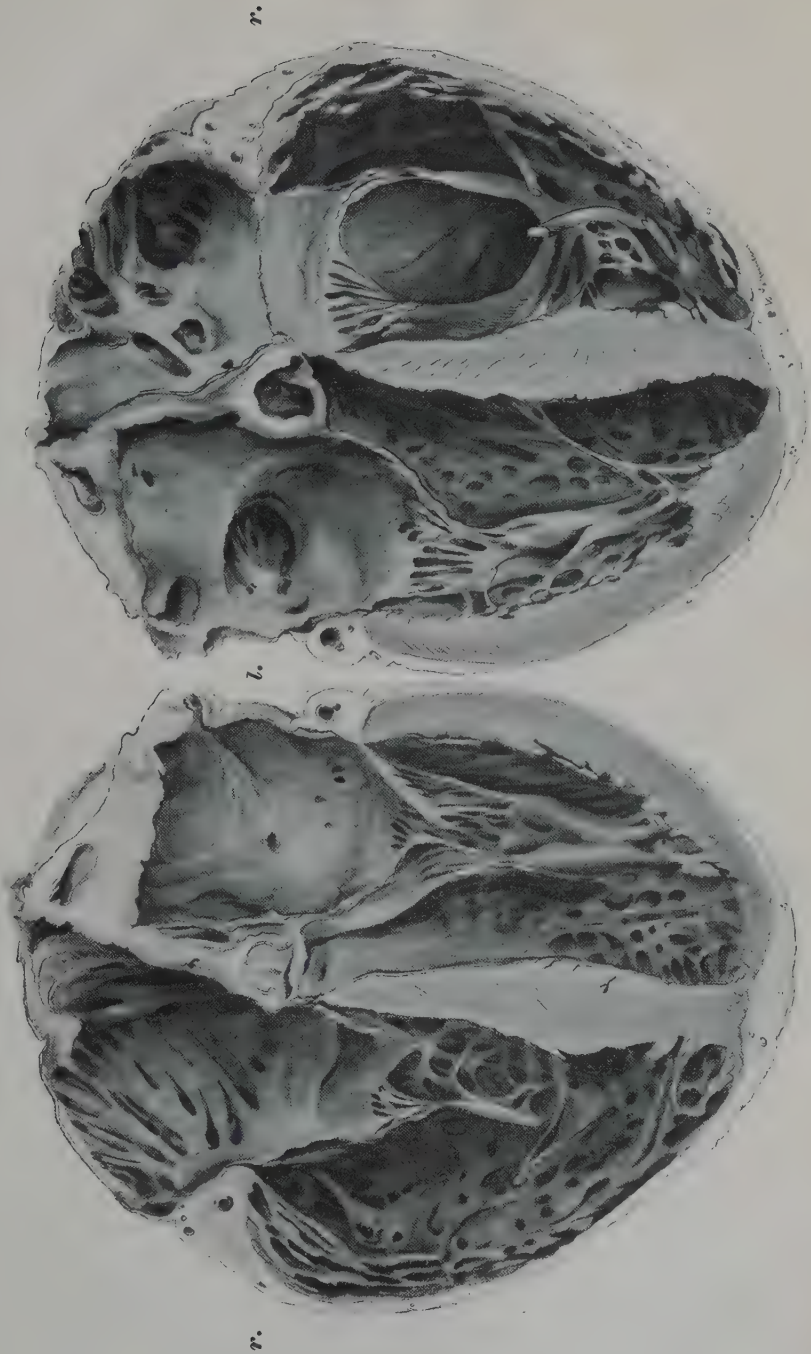
benutzt. Zu dem Zweck wurde es durch einen Frontalschnitt, ebenso wie das diastolische Herz, in eine vordere und hintere Hälfte zerlegt (Tafel V). Als Zwischenstufe wurde das vorher schon erwähnte Herz G 10 zum Vergleich mit herangezogen (s. Tafel IV). Wenn auch die Schnittführungen in den 3 verschiedenen Herzen nicht genau korrespondieren, so lassen sich doch im ganzen dieselben Abschnitte gut vergleichen, wobei allerdings der Fehler immer in Anrechnung gebracht werden muß, daß man nicht mehr unterscheiden kann, ob die Herzen überhaupt in ihrer ursprünglichen Größe einander ähnlich waren. Auf der Schnittfläche des Herzens fällt zunächst auf, daß, während die äußeren Kammerwandungen des diastolischen Herzens einen nach oben zu breit offenen Trichter bilden, am systolischen Herzen die Wandungen sich scharf der Eiform nähern, die stumpfe Seite des Eies gegen die Vorhöfe gedacht. Diese Formänderung wird, abgesehen von der Gesamtannäherung der Außenwand an die Scheidewand, hauptsächlich dadurch bedingt, daß der obere Rand der Kammerwand an der Atrioventrikularfurche sich spangenartig gegen die Pars membranacea zu einstülpt. Dies ist besonders linkerseits der Fall. Rechterseits wird dasselbe durch ein Einknicken der Crista supraventricularis in das Kammerlumen erreicht. Wenn ich das Herz G 10, welches die Zwischenstufe repräsentieren soll, kurz als halbsystolisches Herz bezeichne, so läßt sich an diesem Herzen auch schon das Einbiegen des oberen Kammerandes andeutungsweise erkennen, obwohl das Herz in seinen unteren Abschnitten noch ziemlich weit klappt. Es erscheint mir nicht uninteressant, daß man diese Tatsache aus den Präparaten feststellen kann, da diese auf Verengerung des Klappenringes hinstrebende Muskelbewegung Vorbedingung für Funktionieren des Klappenschlusses ist und daher auch gleich zu Beginn der Systole erwartet werden sollte.

Was demnächst in die Augen fällt, ist das Verhalten des Kammerseptums. Während dasselbe auf dem Durchschnitt am diastolischen Herzen einen schlanken, leicht S-förmig gekrümmten, in der Mitte durch stärkere Trabekel spindelig verdickten Muskelkegel darstellt, dessen oberes Ende nach rechts und dessen unteres Ende leicht nach dem linken Ventrikel zu abgebogen ist, sieht man auf dem halbsystolischen Herzen eine Streckung aus der S-förmigen Krümmung und eine Verbreiterung oberhalb und unterhalb der vorher spindelig verdickten Mitte. Am systolischen Herzen ist die Verbreiterung ganz besonders stark. Das Septum stellt hier auf dem Durchschnitt nicht mehr einen nach oben und unten spitz zulaufenden Kegel dar, sondern eine oben abgerundete, nach unten breit in den linken Ventrikel einstrahlende Platte von annähernd paralleler Begrenzung, die nur unten sich etwas verjüngt und nach links abbiegt (Fig. 20). Um zum Vergleich einige Querschnittsmaße zu geben, seien folgende Zahlen angeführt:

	Diastolisches Herz	Systolisches Herz
Oberes Drittel des Septums . .	10 mm	19 mm
Mitte	15 „	19 „
Unteres Drittel	10 „	17 „

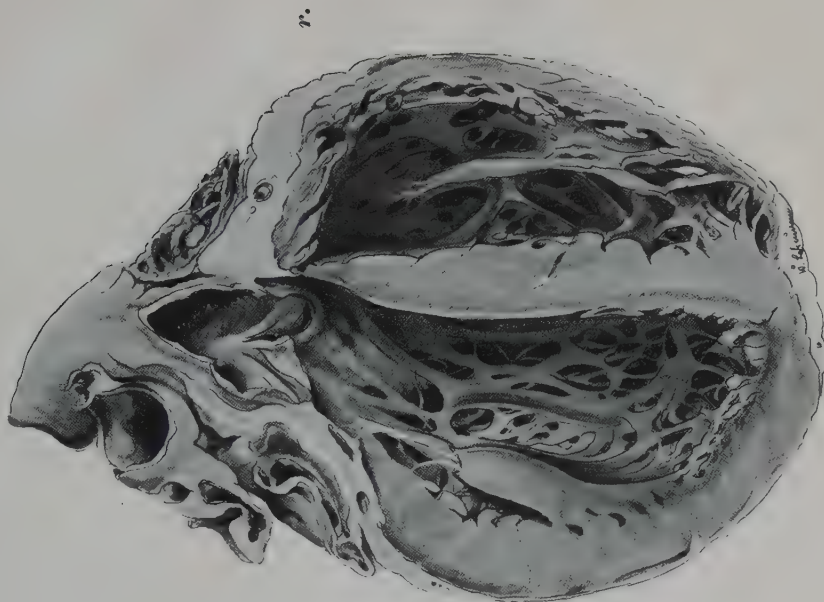
Vorderseite

Rückseite

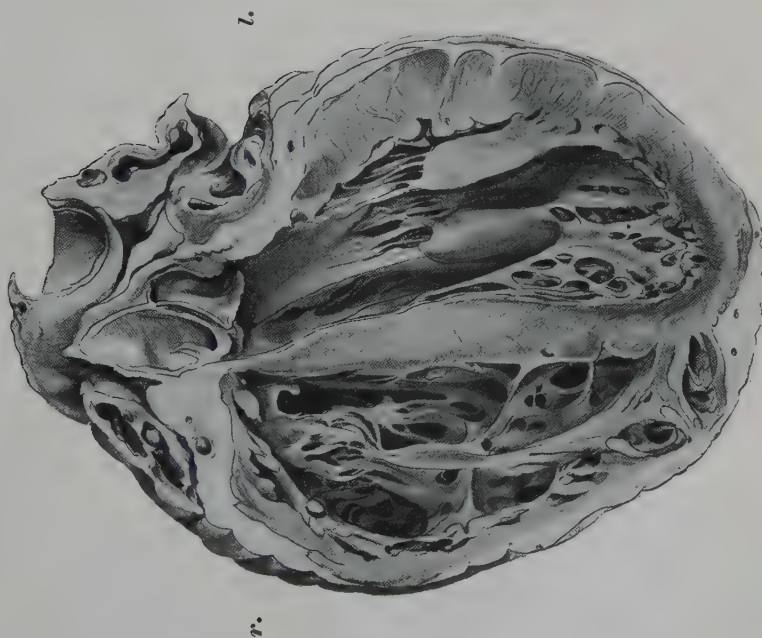


Innenansicht (Vorder- und Rückseite) eines annähernd diastolischen Herzens (Fall von Gasvergiftung).

Vorderseite



Rückseite



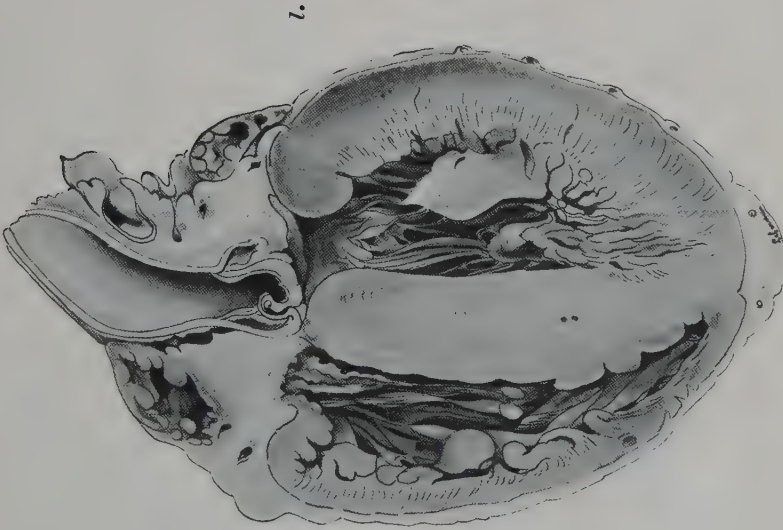
Innenansicht (Vorder- und Rückseite) eines Herzens bei beginnender Systole.

Vorderseite



2.

Rückseite

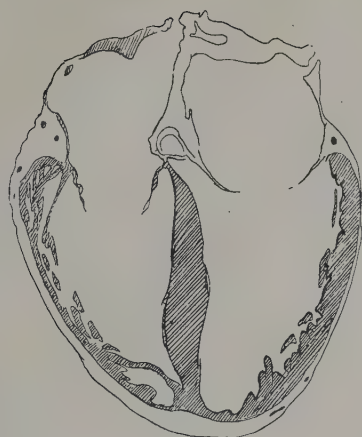


1.

2.

Innenansicht (Vorder- und Rückseite) eines systolischen (wärmetarren) Herzens.

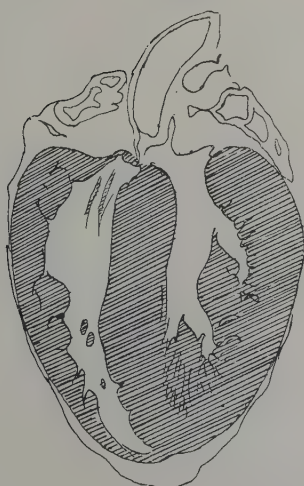
Fig. 20.



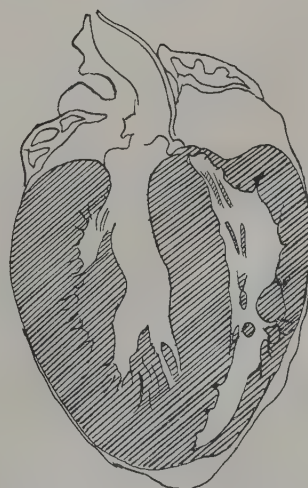
G 14



G 10



D 8



Schematische Darstellung der Wand- und Scheidewandschichten des diastolischen (G 14), halbsystolischen (G 10) und systolischen (D 8) Herzens. Zu beachten ist besonders die Formveränderung der Ventrikelscheidewand.

Weiter fällt auf, daß am diastolischen Herzen das Septum als freistehende Scheidewand die Herzkammern in ziemlich gleich große Teile teilt und man nicht den Eindruck hat, als wenn es mit seiner Muskelmasse einem der Ventrikel mehr zuzurechnen wäre. Wenn solcher Eindruck überhaupt bestände, würde er eher zu gunsten des rechten Ventrikels ausschlagen, dessen Spitzenmaschenwerk aufs innigste, besonders auch durch das Moderatorband, mit dem Septum verbunden ist. Ganz anders ist der Eindruck am systolischen Herzen. Hier geht das breite Septum im gesamten Spitzenteil des Herzens so breitbasig in die Außenwand des linken Ventrikels über, daß das Septum und die Außenwand des linken Ventrikels ein Herz für sich zu bilden scheinen, dem die rechte Kammer nur als Adnex angelagert zu sein scheint.

Die äußeren Kammerwandungen zeigen ebenfalls eine beträchtliche Verdickung, die einmal auf Zusammenschiebung der äußeren, mehr kompakten Muskelschichten, dann aber vorwiegend auf Zusammenschieben des Trabekelwerkes und Anlagerung desselben an die äußeren Schichten zurückzuführen ist. Diese Verdickung der äußeren Kammerwandung geht mit einer Verkürzung derselben in allen Durchmessern einher und läßt sich in einer Richtung ohneweiters feststellen, wenn man auf der Schnittfläche vom unteren Septumende zum oberen Rande der Herzaußenwand an der Atrioventrikularfurche mißt. Es ergeben sich dabei folgende Zahlen:

	Diastolisches Herz	Systolisches Herz
Rechter Ventrikel von Atrioventrikularfurche bis Spitze gemessen . . .	92 mm	85 mm
Linker Ventrikel	92 „	85 „

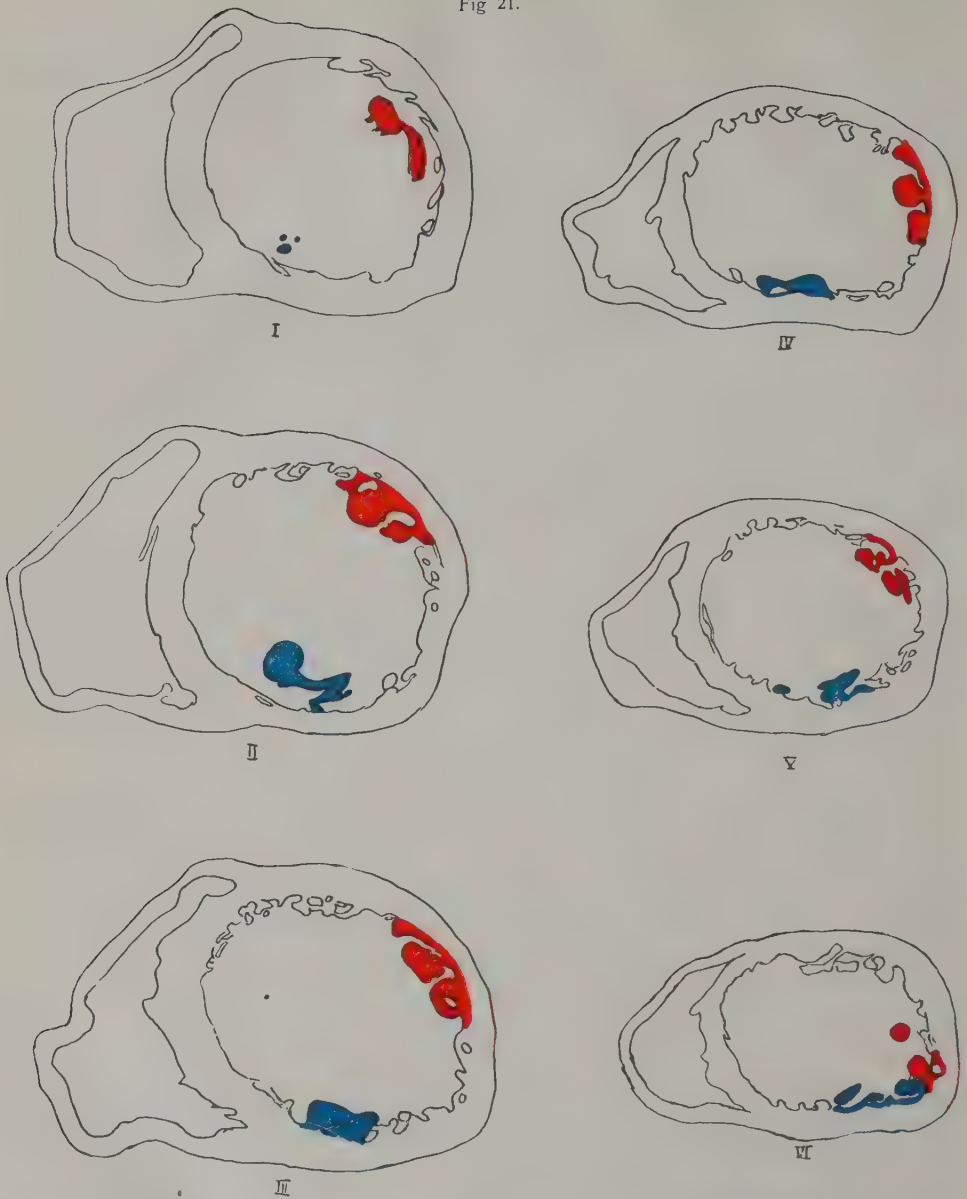
Das Auffallende an diesen Zahlen ist außerdem noch, daß sie genau übereinstimmen. Dasselbe wurde ja auch schon bei einigen Maßen an der Außenseite des Herzens festgestellt. Ich glaube überhaupt, daß die Proportionen des gesunden Herzens in bezug auf rechten und linken Ventrikel, trotz der offenbar verschiedenen Architekturen, überall gewahrt sind. Das wird besonders auch für das Fassungsvermögen der Kammern Geltung haben.

Besonders auffallend sind fernerhin die Veränderungen, die das Trabekelwerk betreffen. Das Netzwerk, welches die Einflußbahn und den Spitzenteil der Kammerhöhlen, stellenweise fast schwammartig, ausfüllt, verschwindet in seiner zierlichen Architektur. Das ist vor allem am rechten Herzen zu sehen, dessen Außenwand, nächst den mehr ununterbrochenen dünnen Außenschichten, nach innen zu am diastolischen Herzen durch ein klaffendes Spongiosasystem gebildet wird. Am systolischen Herzen vereinigt sich diese Spongiosa mit der Außenschicht zu einer kompakten, fast homogen aussehenden Wandung, an welcher auf dem Durchschnitt noch die Fugen zu erkennen sind, welche den trabeculären Lücken entsprechen. Die Lücken selbst verschwinden aber vollständig. Wie der Querschnitt zeigt auch die endokardiale Fläche der Außenwand ein gleichsinniges Verhalten, indem die am

diastolischen Herzen tiefen Buchten des Trabekelwerkes sich zu kleinen sanft gerundeten Grübchen umwandeln. Dadurch bekommt die Wand eine glatte Beschaffenheit, welche dem Blutstrom keinen größeren Reibungswiderstand bieten wird. Der Spitzenteil des rechten Ventrikels ist bis fast zur anatomischen Spitze noch in schmalem Spalt offen. Das hier besonders reichliche Trabekelwerk schiebt sich aber derart zusammen, daß es statt der zahllosen kleinen Spongiosabalken jetzt nur eine geringe Anzahl dickerer kompakter Balken aufweist, an denen kaum noch die Zusammensetzung aus den einzelnen Trabekeln zu erkennen ist. Es ist verständlich, daß das wirre Geflecht im Lumen der rechten Kammer Spitze sich nicht derart lückenlos zusammenlegen kann, wie das architektonisch etwas regelmäßiger gestaltete Spongiosawerk der äußeren Kammerwandungen. Die größtmögliche Beseitigung des Lumens wird aber erreicht, soweit die zu einzelnen dicken Balken zusammengeschobenen Trabekel der Spitze dies überhaupt zulassen. Es sei dabei darauf hingewiesen, daß gerade in dem Trabekelwerk der rechten Kammer Spitze viele Variationen bestehen und daß es Herzen gibt, in denen die ausfüllende Trabecularis sehr viel feinkalkiger ist und sich auch im systolischen Herzen dadurch, daß weniger grobe Balken entstehen, enger zusammenlegt. Wir haben dann ein kaum noch nachweisbares Lumen im Spitzenteile zu erwarten. Aber selbst wenn, wie bei unserem systolischen Herzen, das Trabekelwerk der rechten Spitze sich in einzelne gröbere Balken umwandelt, entstehen glatte, mit der Ausflußbahn kommunizierende schmale Hohlräume, die einen Abfluß des Blutes ohne Widerstand gewährleisten.

Im linken Ventrikel ist von der gesamten Trabecularis am systolischen Herzen überhaupt nur noch wenig zu sehen. Allerdings verdecken die vorspringenden Papillarmuskeln einen großen Teil derselben. In der Hauptsache ist es aber dadurch begründet, daß die Contraction der Kammerwandung in noch verstärktem Maße die gleichen Verhältnisse schafft wie rechts. Der Spitzenteil wird derartig zusammengeschoben, daß jedes Lumen verschwindet; man sieht aber in ihm sowohl, wie an der Außenwand auf dem Durchschnitt, noch eine radiär gegen das Lumen gerichtete Fugenbildung der inneren Wandschichten, welche den früheren trabeculären Lücken entspricht. Fast völlig frei von Trabekeln und dementsprechend auch ohne Fugenbildung ist auf dem Durchschnitt die linke Seite des Kammerseptums. Zwischen den Papillarmuskeln hindurch sieht man vorn und hinten einige gröbere Trabekelbalken. An der vorderen Wand vereinigen sich dieselben zu einem starken, zuweilen auch geteilten Muskelwulst, der, leicht nach hinten geneigt, gegen die Spitze des Kammerseptums zieht und eine Verbindung der Basis des vorderen Papillarmuskels mit der Pars membranacea vorstellt. Dieser Muskelwulst führt die vorderen Abschnitte des linken *Tawaraschen* Schenkels. Weniger deutlich ist eine Gruppe meist nicht so stark ausgebildeter länglicher Trabekelwülste, die in Zwei- oder Mehrzahl vom Fußpunkt des hinteren Papillarmuskels zur gleichen Stelle führen und als Leitbahn der hinteren Abschnitte des linken *Tawaraschen* Schenkels dienen. Diese Muskelwülste laufen

Fig 21.

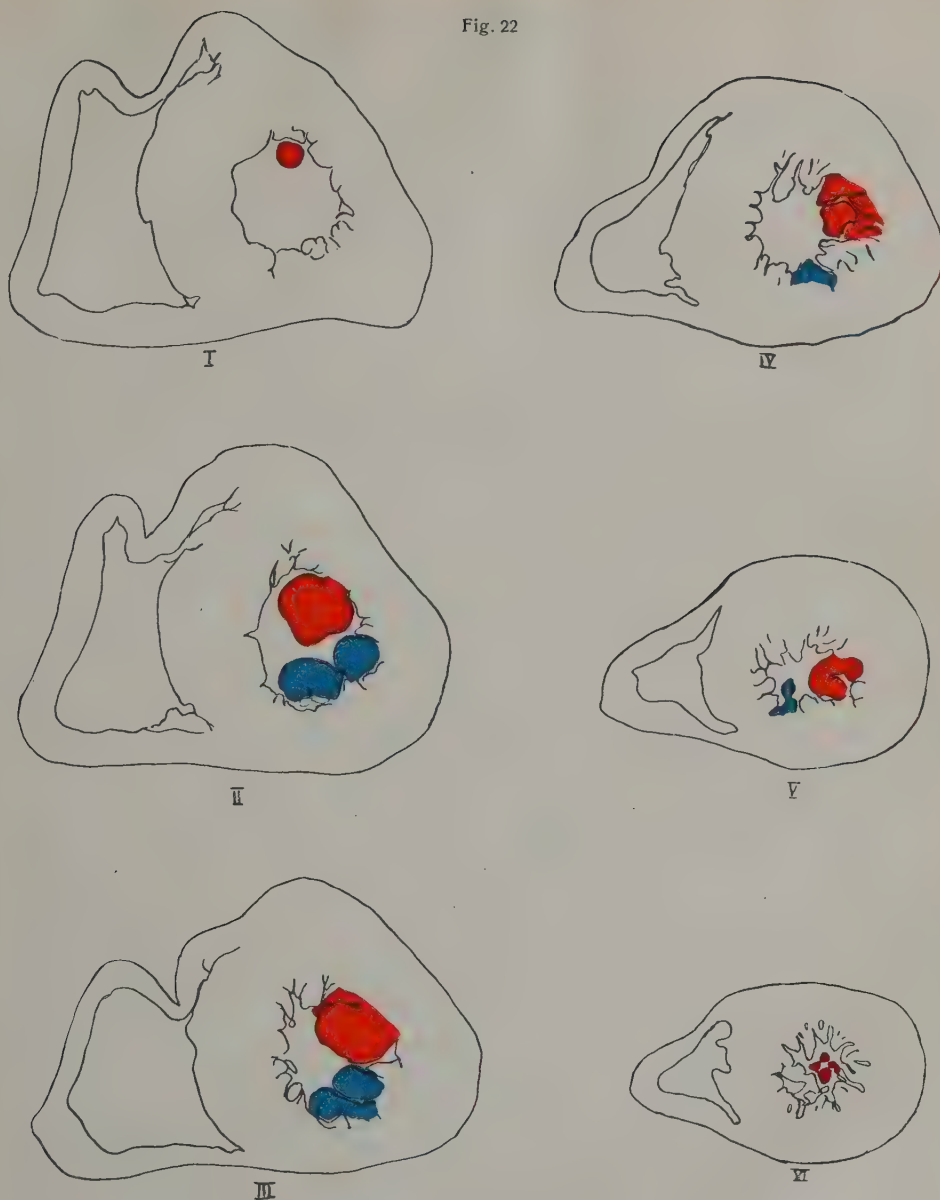


Schraubenförmiger Verlauf und systolische Torquierung der Papillarmuskeln des linken Ventrikels, auf Horizontalschnitten durch das Herz schematisch dargestellt (diastolisches Herz).

ziemlich senkrecht am Septum empor. Sowohl die vorderen wie die hinteren Muskelwülste verschwinden schon ca. $1\frac{1}{2}$ cm unter der Pars membranacea subendokardial, so daß sie nicht mehr ins Lumen vorspringen.

Die Papillarmuskeln werden zweifach von der Systole betroffen, einmal indem sie sich verkürzen und verdicken, das anderemal indem sie sich dem Septum nähern. Rechts ist besonders der große äußere vordere Papillar-

Fig. 22



Schraubenförmiger Verlauf und systolische Torquierung der Papillarmuskel des linken Ventrikels, auf Horizontalschnitten durch das Herz schematisch dargestellt (systolisches Herz).

muskel in seinem Verhalten zu beobachten. Er verkürzt sich schätzungsweise um die Hälfte seiner Länge und nimmt entsprechend an Breite zu, vor allem aber nähert er sich außerordentlich dem Septum, wie die folgende Tabelle zeigt.

Entfernung des vorderen äußeren rechtsseitigen Papillarmuskels vom Kammerseptum:

	Diastolisches Herz	Halbsystolisches Herz	Systolisches Herz
An der Spitze	27 mm	14 mm	5 mm
An der Basis	22 „	16 „	4 „

An dem äußeren hinteren rechten Papillarmuskel ist ebenfalls die Verkürzung und völlige Heranziehung an das Septum zu erkennen. Der nur rudimentäre mediale kann naturgemäß keine wesentlichen Veränderungen aufweisen.

Um so sinnfälliger sind wiederum die linken Papillarmuskeln (Fig. 21 u. 22) in ihrem Verhalten zu beobachten. Ich glaube dabei auf eines besonders aufmerksam machen zu müssen. Die Papillarmuskeln werden im allgemeinen als vorderer und hinterer bezeichnet; das trifft für das systolische Herz nur noch bedingt zu. Wir sehen nämlich, daß der hintere Papillarmuskel, welcher am diastolischen Herzen allerdings ausgesprochen an der Hinterwand sitzt, im systolischen Herzen nicht nur an das Septum heran, sondern auch nach vorn rückt, daß der vordere Papillarmuskel, welcher am diastolischen Herzen eigentlich vorn außen liegt, sich außer gegen das Septum auch nach hinten verschiebt oder, kurz gesagt, daß beide Papillarmuskeln sich in der Systole der Mitte des Ventrikels nähern, wobei der vordere außen, der hintere innen am Septum zu liegen kommt, so daß auf einen Frontalschnitt durch das Herz beide in die Schnittfläche fallen und man in diesem Stadium der Herzrevolution von einem lateralen und medialen Papillarmuskel sprechen könnte. Ich möchte aber keineswegs diese Bezeichnung als ändernden Vorschlag bringen, da man alte eingewurzelte Gebräuchlichkeiten nicht ohne zwingenden Grund ändern soll; nur auf die Tatsache soll hingewiesen werden. Was weiter an den linken Papillarmuskeln auffällt, ist, daß sie sich aus ihrer mehr breiten, etwas abgeflachten, der Außenwand anschmiegenden Gestalt zu der mehr plumpen, erigierten, in das Lumen vorspringenden Form eines abgestumpften Kegels umwandeln. Das Verhalten ist also etwas anders als wie im rechten Ventrikel. Da sie sich einander außerdem im ganzen stark nähern, fast bis zur Berührung, und die Spitzen sich gegeneinander neigen, dienen sie gleichzeitig mit dazu, das Lumen der Einflußbahn zum Verschwinden zu bringen. Da ferner der vordere Papillarmuskel in der Systole in die Höhe steigt und den hinteren Papillarmuskel um ein Beträchtliches überragt, übernimmt er besonders mit die Funktion, die Ein- und Ausflußbahn voneinander zu trennen, wie es im rechten Herzen die Crista supraventricularis besorgt. Dadurch, daß die Spitzen der Papillarmuskeln sich in das Lumen hineinbiegen, u. zw. in der Richtung auf die Einflußbahn, wird gewährleistet, daß die Ausflußbahn frei bleibt.

Die Herzklappen zeigen folgendes Verhalten: Sie sind im wesentlichen flach, aber ganz dicht aneinander gelagert; dies gilt zunächst für den rechten Ventrikel. Ein Einstülpfen gegen den Vorhof oder eine Formänderung in dem Sinne, daß die Basis der Klappen zunächst quergestellt und die Klappen an

den Ansätzen der Sehnenfäden zweiter Ordnung abgeknickt wären, ist nicht zu erkennen. Wenn man die muskuläre Verengung des Atrioventrikularrings berücksichtigt, die für dieses Ostium nur einen schmalen Spalt übrig läßt, so ergibt sich daraus von selbst, daß ein solcher membranartiger Abschluß des Ostiums nicht nur nicht nötig, sondern auch nicht möglich ist. Die eng aneinanderliegenden, in ihren durch die Sehnenfäden bedingten Rippen wie Zahnräder ineinandergreifenden Klappen des rechten Ventrikels liegen in ihrem größten, d. h. hinteren Abschnitt dabei dem Septum straff an. Von der Außenwand sind sie durch einen komplementären Raum ziemlich breit getrennt. Nach vorn, nach der Ausflußbahn zu, ist die Grenzscheide ebenfalls fast völlig verschwunden, u. zw. dadurch, daß der große Papillarmuskel sich dem Septum anlagert. Dagegen kommuniziert der komplementäre Raum noch ziemlich breit mit der Ausflußbahn. Links sind die Klappen ebenfalls im ganzen gestreckt. Die Sehnenfäden, die sich rechts wie die Klappen miteinander berühren, stehen hier infolge der breiten kontrahierten Papillarmuskelgruppen, an denen sie inserieren, etwas auseinander. Der Schließungsrand der Klappen aber berührt sich und greift zahnradartig ineinander. Das große Segel legt sich nicht wie rechts dem Septum an, da es ja sonst die Ausflußbahn versperren würde, sondern es wird vermöge seiner straffen Anheftung an der Aortenwurzel und der Neigung der Papillarmuskelspitzen, besonders der hinteren, gegen das Lumen der Einstromungsbahn zu in genügender Entfernung von dem Kammerseptum gehalten. Auch hier an der linken Seite besteht ein deutlicher komplementärer Raum zwischen dem hinteren Segel und der Außenwandung und in Gestalt der Ausflußbahn auch zwischen Scheidewand und vorderem Segel. Man gewinnt aus alledem den Eindruck, daß die Belastung der Klappen durchaus nicht eine so hochgradige zu sein braucht, wie vielfach angenommen wird. Der Umbau der systolischen Ventrikel gibt dem Blutstrom ganz von selbst die Richtung auf die Ausflußbahn und nicht auf die Klappen, und da, wo noch Lumen in der Einflußbahn erhalten ist, handelt es sich vorwiegend um den komplementären Raum. Eine Rückstauung in diesem Abschnitte aber bei der Systole wirkt im Verein mit dem Druck, der in der Ausflußbahn herrscht, nur günstig auf den Klappenschluß, indem beide Komponenten die Klappen enger aneinanderdrücken müssen, u. zw. so, daß das Blut der Ausflußbahn, sowohl rechts wie links, auf die großen Segel, das Blut des Komplementärtraumes auf die hinteren Segel wirkt. Es sei außerdem noch einmal darauf hingewiesen, daß die im diastolischen Herzen weit offenen Grenzscheiden rechterseits durch die Anlagerung des großen Papillarmuskels an das Septum, linkerseits durch Annäherung und Übereinanderschieben der Papillarmuskeln fast völlig zum Verschwinden gebracht werden, so daß der Weg zum Klappentrichter mehr oder weniger versperrt ist.

Über die Annäherung der Außenwandungen an das Septum ist schon einiges wesentliche gesagt, sie soll im folgenden noch an einer Tabelle veranschaulicht werden, obwohl die Fehlerquellen, da es sich um Herzen von

verschiedenen Individuen handelt und das Trabekelwerk der Wandungen die Maße ungenau macht, nicht vermieden werden können.

Entfernung der Außenwand vom Kammerseptum:

	Diastolisches Herz	Halbsystolisches Herz	Systolisches Herz
Rechter Ventrikel:			
Oberes Drittel . .	40 mm	26 mm	16 mm
Mitte	30 „	23 „	11 „ (4 mm)
Unteres Drittel .	18 „	16 „	7 „
Linker Ventrikel:			
Oberes Drittel . .	42 mm	34 mm	19 mm
Mitte	37 „	33 „	22 „ (5 mm)
Unteres Drittel .	22 „	25 „	—

Es muß dabei jedoch noch vermerkt werden, daß bei diesen Zahlen sich für die untere Hälfte der Ventrikel noch viel geringere Werte ergeben, wenn man die lumenfüllenden Papillarmuskeln zu den Wandungen hinzurechnet. Die Werte, die alsdann erhalten werden, sind in Klammern beigelegt.

Schließlich noch ein Wort über die Pulmonalisaußflußbahn. An ihr fällt auf, wie sich die Crista supraventricularis als zusammengeschlossener Wulst unmittelbar an den kleinen medialen Papillarmuskel anlegt und dadurch zur Absperrung von Ein- und Ausflußbahn beiträgt. Außerdem sieht man am Kammerseptum, nahe der vorderen Commissur, einen nach abwärts zu geteilten ziemlich kräftigen Muskelbalken auf die Pulmonaliswurzel an die Grenze von vorderer und hinterer linker Klappe zulaufen. Die Muskelbalken streben nach abwärts in Richtung auf den Fußpunkt des vorderen größeren Papillarmuskels. Das muskulöse Ausflußrohr ist außerdem natürlich im ganzen sehr viel enger am systolischen als am diastolischen Herzen und die Muskulatur dicht unter den Pulmonalisklappen springt an der septalen Seite wulstartig vor.

IV. Funktioneller Bau der Herzmuskulatur.

Nachdem im Vorhergehenden erörtert worden ist, wie der Bau der Herzhöhlen im Innern und die Lage der Herzabschnitte für Füllung und Entleerung des Herzens zweckmäßig eingerichtet erscheinen und die systolische Umformung des Herzens aus dem diastolischen Zustande besprochen worden ist, soll in Folgendem versucht werden, die Art der funktionellen Muskelbewegung zu analysieren. In dieser Hinsicht hat uns seinerzeit die klassische Beschreibung *Krehls*, als er das Triebwerk des linken Ventrikels funktionell abgrenzte, einen großen Schritt vorwärts gebracht. Alle früheren Untersucher haben sich mehr oder weniger immer wieder auf die Zergliederung der Herzmuskulatur, auf das Präparieren von Muskelzügen und Lamellen gestützt. Ich habe schon im Vorhergehenden darzulegen versucht, daß dadurch das

Verständnis für die Herzbewegung wesentlich gefördert wurde, daß aber viele Widersprüche sich ergeben mußten, weil die Präparation sich auf Kunstprodukte stützt.

Um bei diesem schwierigsten Kapitel der Herzanatomie einen weiteren Schritt nach vorwärts zu versuchen, bin ich in der Weise vorgegangen, daß ich die Herzen auf Schnittebenen in den verschiedensten Richtungen mikroskopisch untersuchte und den unter der Lupe sich ergebenden Muskelverlauf schematisch einzeichnen ließ. Die Einwände, die gegenüber diesem Verfahren gemacht werden können, sind mir wohl bewußt; ich glaube aber, daß man aus dieser Methode dennoch einiges Brauchbare herausholen kann, wenn man, wie ich es getan habe, nicht nur die Herzen von Erwachsenen, sondern gerade auch kindliche und fötale Herzen mitbenutzt. Der Vergleich zwischen fötalen und erwachsenen Herzen zeigt uns nicht nur den im extrauterinen Leben sich ausbildenden Umbau des ganzen Herzens, sondern ebensogut die Entwicklung einzelner Muskelschichten und Lamellen aus dem mehr ungeschichteten, syncytialen Zustande der Herzmuskulatur beim Foetus.

Es ist natürlich unmöglich, aus solchen, nur eine ganz umschriebene Stelle treffenden Schnitten sich ein Bild von der Verlaufsrichtung der im späteren Leben sich in gewisser Weise schichtenden Muskulatur zu machen. Ich will deshalb auch nur das hervorheben, was mir auf Grund dieser Schnitte für die Funktion der einzelnen Wandabschnitte von Bedeutung erscheint.

In dem Herzen eines ca. 5 Monate alten Foetus ist der syncytiale Aufbau der Herzmuskulatur noch unbedingt der vorherrschende. Allerdings sieht man längere Faserzüge in fortlaufenden Zügen, so z. B. in den Papillarmuskeln. Die Muskelfasern derselben verlaufen ununterbrochen in die Wandmuskulatur hinein. Diese letztere läßt größtenteils keine strenge Schichtenbildung erkennen. Auf Schnitten durch die linke und rechte Kammer, die ungefähr parallel dem Septum geführt sind, sieht man, vornehmlich an der Hinterwand, fast nur Schräg- oder kurze Längsschnitte von Muskelfasern, die vom Perikard aus, wo sie leicht gebogen zu sein scheinen, gegen das Lumen der Ventrikelhöhlen und in die Trabecularis bzw. in die Papillarmuskeln einstrahlen. An der Vorderseite, besonders des linken Ventrikels, macht sich im Spitzenteile eine gewisse subendokariale Schichtung geltend. Aber auch von dieser nur schmalen Schicht strahlen Faserzüge an allen Stellen in die mehr wirre, in die Trabecularis hineinziehende Wandmuskulatur hinein. Eine gewisse Schichtung ist auch überall dort zu erkennen, wo die großen Gefäße abgehen, am Annulus fibrosus, wo das Septum ansetzt u. s. w. Das alles aber vermag den Eindruck nicht zu verwischen, daß wir es im großen und ganzen mit einem Syncytium, in welchem die Fasern sich nach allen Richtungen ausbreiten, zu tun haben (Tafel VI).

Bei der Beurteilung der Schnitte ist in der Beziehung Vorsicht vonnöten, als man streng zwischen der Septierung der Herzmuskulatur und der Verlaufsrichtung der Muskelfaserbündel zu unterscheiden hat. Es zeigt sich, daß durch feinere Septen schon in dem fötalen Herzen Muskelgruppen abgetrennt

werden, die durch diese Septierung auf Schnitten eine besondere Verlaufsrichtung zu haben scheinen. Bei stärkerer Vergrößerung sieht man dann, daß innerhalb des durch Septen abgegrenzten Bezirkes die Muskelfasern nicht längs, sondern quer getroffen sind, so daß die Verlaufsrichtung gerade eine entgegengesetzte ist, wie die Septen sie andeuten.

Besonders guten Überblick (Tafel VII) über die Kammermuskulatur des fötalen Herzens bekommt man auf frontalen Schnitten. Von größerem Interesse ist aber das Septum, insofern man an ihm eine gut angedeutete Schichtung der beiderseitigen subendokardialen Abschnitte und einen stärkeren centralen Abschnitt mit mehr quergetroffenen Fasern erkennen kann. Aber auch hier biegen die längsgerichteten äußeren Schichten immer wieder in das Centrum ein. Über die Spitze weg ziehen schmale parallelfaserige Züge, die gegen das Septum zu Einstrahlungen haben. Rechter und linker Ventrikel unterscheiden sich nicht wesentlich in ihren Größenverhältnissen. An beiden Ventrikeln sind die mittleren Wandabschnitte mehr von quergetroffenen Muskelfasern beherrscht, ähnlich wie die Mitte des Septums. Besonders zu bemerken ist noch, daß der Annulus fibrosus im wesentlichen aus sehr lockerem, nur in einzelnen Fasern bei *van Gieson*-Färbung rot sich tingierendem Gewebe besteht, welches nach dem Klappenansatz zu etwas straffer wird. An dieses Gewebe ist der Ventrikelmuskel locker angeheftet und nur ganz vereinzelte, rot sich färbende Septen strahlen in die Muskulatur ein. Daß man es hier mit einer Endsehne zu tun haben könnte, läßt sich bei dem fötalen Herzen (5. Monat) nicht vermuten. Auch an der Spitze des Septums sind die Verhältnisse ähnliche. Man sieht zwar hier im Bereiche der Pars membranacea straffes rotes Bindegewebe, welches hauptsächlich der Tricuspidalis und Mitralis zur Anheftung dient, mit der Ventrikelscheidewand aber nur durch die subendokardialen Schichten in leichter Verbindung steht und welches in dem vorliegenden Schnitt in der Hälfte der Septumbreite durch das im fötalen Herzen verhältnismäßig sehr große Reizleitungssystem (Stamm) unterbrochen wird, so daß man auch hier weniger den Eindruck hat, daß es sich um eine Endsehne des Ventrikels handelt, als daß die Bindegewebsentwicklung für den Klappenansatz berechnet ist.

Untersucht man noch jugendlichere Herzen, so tritt der syncytiale Charakter des Herzmuskelaufbaues noch mehr in den Vordergrund. Auf einem frontalen Schnitt durch das Herz eines 3 Monate alten Foetus (Tafel VIII) zeigt sich dabei wieder nur subendokardial eine mehr parallelfaserige Anordnung der noch wenig septierten Muskulatur. Die Faserbündel steigen im Septum nach oben, u. zw. sowohl vom rechten wie vom linken Ventrikel aus, wobei linkerseits die Muskelfaserzüge ziemlich senkrecht nach oben laufen, während sie rechterseits mehr schräg getroffen sind. Diese beiden rechts- und linksseitig aufsteigenden Muskelsysteme machen die Hauptmasse des Septums aus und treffen sich in einer Art Raphe ziemlich in der Mitte des Septums. Eine eigene mittlere Schicht, wie sie in älteren Herzen gefunden wird, ist in den hauptsächlichlichen Abschnitten des Septums, vor allem in den oberen, nicht

oder doch nur erst andeutungsweise zu isolieren. Nach der Herzspitze zu sind schon quergetroffene Muskelbündelchen eingeschaltet und die vom rechten und linken Ventrikel aus der äußeren Wand an der Spitze in das Septum einstrahlenden Muskelzüge scheinen sich zum Teil zu durchflechten, in der Hauptsache aber strahlen sie in das Septum ein. Die Septumspitze wird so gut wie vollständig in dem Testschnitt vom Reizleitungssystem und dem Abgang des linken Schenkels eingenommen. Der Aufbau der rechten Septumseite ist, besonders nach der Septumspitze zu, infolge von Schrägschnitten unregelmäßiger als an der linken Seite.

Die äußeren Kammerwandungen dieses 3monatigen Herzens zeigen, wie gesagt, deutlichere Parallelschichtung in den subepikardialen Schichten. Bei den alleräußersten, dicht unter dem Perikard gelegenen Fasern macht sich dabei eine leicht schräge Verlaufsrichtung in dem Sinne geltend, daß die Fasern von unten außen nach oben innen gerichtet sind, so daß man darin vielleicht die ersten Anfänge einer besonderen, nur dünnen subepikardialen Schicht vermuten könnte, die ich vorher als *Platysma* des Herzmuskels bezeichnet habe. Die inneren Schichten der Wandmuskulatur zeigen nach der Trabecularis zu mehr quergetroffene Muskelbündelchen; sobald die Trabekel aber größer werden oder sich zu richtigen Papillarmuskeln erheben, sieht man außer quergetroffenen mehr parallel angeordnete Faserbündel, die in nach der Spitze zu konvexem Bogen aus der Wandmuskulatur in die Papillaren einstrahlen.

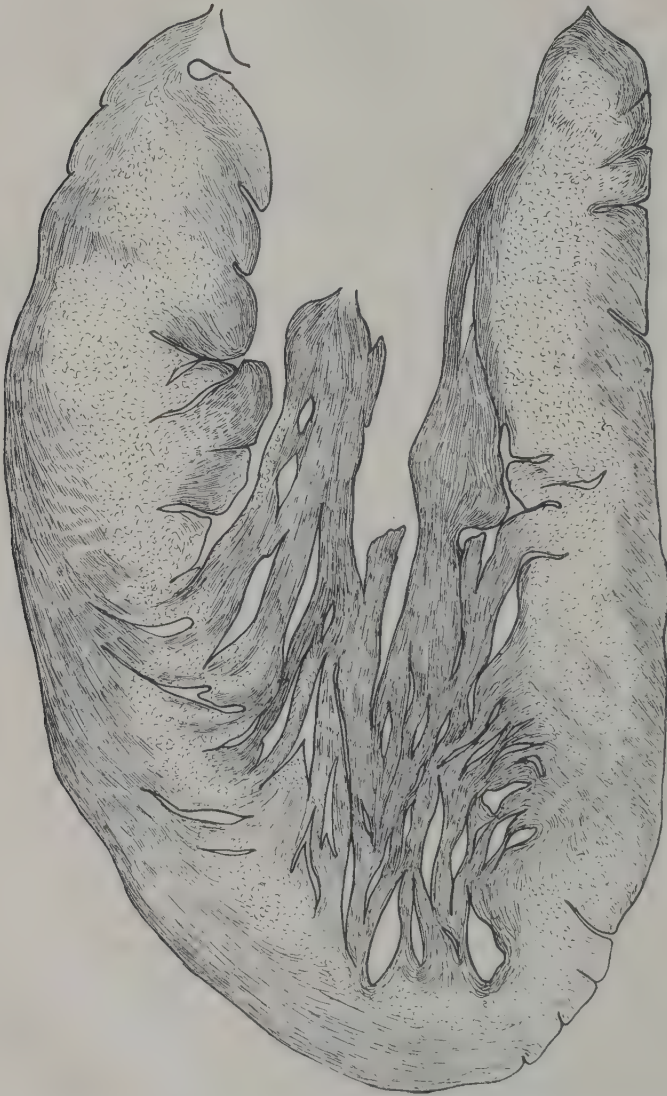
An einem noch jüngeren Foetus (2 Monate) sind die Verhältnisse im ganzen ähnliche. Der syncytiale Charakter des Muskelaufbaues beherrscht das Bild. Das Septum zeigt am unteren Ende ziemlich parallel angeordnete, d. h. im ganzen aufsteigende Fasern, die beiderseits nach dem Endokard zu noch etwas straffer geordnet sind. Weiter aufwärts werden sie unregelmäßiger und zeigen nur endokardialwärts in ganz schmaler Zone parallelfaserige Richtung. Der Hauptsache nach besteht das Septum oben und in der Mitte aus 2 Schichten, von denen die linksseitige aufsteigend, die rechtsseitige schrägaufsteigend bzw. ohne bestimmte Faserrichtung ist. In allen Trabekeln und Papillarmuskeln, die das Lumen noch sehr weit ausfüllen, herrscht die streifenförmige Anordnung der Muskelfasern in der Längsrichtung der Trabekel vor, u. zw. rechts mehr als links.

Kommt man mit den Frontalschnitten über die Mitte des Herzens nach vorn und hinten hinaus, so verliert sich der Charakter der Schichtung immer mehr und das ganze Muskelparenchym bietet das Bild eines durchgehenden Syncytiums mit nur stellenweiser Parallelschichtung.

Vergleicht man mit diesen fötalen Herzen die Herzen Erwachsener, so zeigt sich, wenn man von den zahllosen Unterteilungen, Septierungen und Durchflechtungen absieht, prinzipiell die gleiche Anordnung des Muskelverlaufs. Es tritt nur ein gewisser Unterschied in der Stärke der einzelnen Muskelschichten auf. Was zunächst die äußeren Wände betrifft, so tritt die subendokardiale parallelfaserige Schicht an Mächtigkeit immer mehr zurück

bis auf ein schmales Muskelblatt unter dem Perikard; dasselbe steht aber durch Einstrahlungen nach innen überall mit den tieferen Muskelschichten in Verbindung. Überwiegend in den Vordergrund tritt dagegen eine meist auf

Fig. 23.



Sagittaler Durchschnitt durch den linken Ventrikel eines erwachsenen menschlichen Herzens. Schematische Darstellung des Muskelfaserverlaufs. Ausgesprochene Schichtenbildung der Muskulatur. Einstrahlen der syncytialen Wandfasern in das Trabekelwerk und die Papillarmuskeln. *Kretsch's* Triebwerk (auf Querschnitten) voll ausgebildet, umgreift besonders das Papillarmuskelgebiet.

Querschnitten getroffene mittlere Schicht, die der am fötalen Herzen inneren Hälfte der Wandschicht zum Teil entsprechen wird. Diese die Hauptmasse ausmachende Muskelschicht ist besonders am linken Ventrikel (Fig. 23) auf

Parallelschnitten zum Septum gut zu übersehen und entspricht dem *Krehl*-schen Triebwerk. Sie ist am rechten Herzen längst nicht in dem gleichen Maße ausgebildet und entwickelt sich, wie gesagt, zu voller Ausbildung erst beim erwachsenen Herzen. Diese Schicht findet sich übrigens außerdem auch noch in den Fußpunkten größerer Papillaren und Trabekel, die sonst vorherrschend parallelfaserige Schichtenanordnung haben, wie sie auch die allerinnerste subendokardiale Schicht zeigt, aus welcher sie ja auch abstammen.

Auch das Septum der Ventrikel zeigt gleiche Verhältnisse, indem auf Kosten der mehr parallelfaserigen äußeren, subendokardialen Schichten sich eine mächtige mittlere Schicht quer- oder schräggetroffener Muskelbündel im erwachsenen Herzen erkennen läßt (Fig. 24), welche mit der in den äußeren Wandungen korrespondiert und ebenfalls dem Triebwerk zuzurechnen ist. Wie die fötalen Herzen gezeigt haben, ist im 2. und 3. Monat (s. Tafel VIII) diese Schicht kaum erst angedeutet, im 5. Monat (s. Tafel VII) läßt sie sich schon erkennen, im erwachsenen Herzen beherrscht sie das Bild. Sie reicht dabei übrigens nicht bis zur äußeren Spitze des Herzens, sondern hört an der Basis des Septums oberhalb derselben auf. Auch auf Sagittalschnitten durch das Septum des erwachsenen Herzens zeigt sich diese sich allmählich heranbildende Mittelschicht sehr deutlich in Gestalt von centralen, nach vorn leicht ansteigenden, hauptsächlich horizontal angeordneten Fasern, die von einem mehr quergetroffenen Mantel äußerer Wandfasern umgeben sind (Fig. 25). Sie bilden im oberen Drittel eine Art Wirbel, von welchem aus Muskelbündel zur Pars membranacea, zu den großen Gefäßen und zum Vorhof ausstrahlen; es scheint aber, als ob die vorderen oberen Muskelbündel mehr dem rechten Ventrikel, die Hauptmasse der unteren und hinteren centralen Muskelschicht dem Triebwerk des linken Ventrikels zuzurechnen wären.

Auf Grund der vergleichenden Beobachtung über den Muskelverlauf des Herzens und der vielfachen Untersuchungen früherer Autoren glaube ich daher, daß man sich etwa folgende Vorstellung über den Bau und die Funktionen der Kammermuskulatur machen kann. Das Herz stellt im ganzen einen zusammengebogenen Schlauch dar, dessen Anfangsteil (Vorhöfe) und Endteil (große Gefäße) so aneinandergelegt sind, daß hinten oben der Anfang des Herzschlauches, vorn oben das Ende desselben gelegen ist. Dieser Herzschlauch ist durch ungleichmäßiges Wachstum und Ausstülpungsvorgänge zu einem gummiballähnlichen Hohlraum umgewandelt, in dem die beim gestreckten Herzschlauch vordere Wand, beim gekrümmten Herzschlauch in der ersten Hälfte vordere Wand, im aufsteigenden Teil hintere Wand im Wachstum zurückgeblieben sind. Das gilt besonders für den mittleren, den Ventrikelabschnitt. An diesem findet ein Ausstülpungsprozeß (durch ungleichmäßiges Wachstum?) nach unten außen und hinten statt, durch den eine Zweiteilung der Kammer durch die Bildung des Kammerseptums erfolgt. Ein aktives Wachsen der Kammercheidewand wird natürlich mit im Spiele sein. Die ausgestülpten Kammerabschnitte legen sich im Septum eng aneinander, so

Fig. 24.



Frontalschnitt durch das Kammerseptum eines erwachsenen menschlichen Herzens. Schematische Darstellung des Muskelfaserverlaufs. Links steiler, rechts schräger aufsteigende subendokardiale Septumschichten. Ausgedehnte zentrale Septumschicht (auf Querschnitten), dem *Krehlschen* Triebwerk entsprechend. Diese Schicht reicht nicht bis zur Spitze.

daß beide Kammerhälften zusammen mit einem sackförmigen oben offenen Gummiball zu vergleichen sind. Diese obere Öffnung ist an der Umbiegungsstelle des Herzschlauches quer geteilt, so daß hinten die zuführende, vorn die

abführende Öffnung liegt. Durch das infolge der Ausstülpung und selbständiges Wachstum sich bildende Kammerseptum ist der mittlere (Ventrikel-) Abschnitt, durch die Vorhofssepten der erste Abschnitt, durch das Bulbusseptum der dritte Abschnitt nochmals unterteilt. Alle 3 Septen treffen sich

Fig. 25.



Sagittaler Durchschnitt durch die Kammerscheidewand eines erwachsenen menschlichen Herzens. Schematische Darstellung des Muskelfaserverlaufs. Die centrale Septumschicht des *Krehts*chen Triebwerks mit nach vorn aufsteigenden Fasern ist mehr längs, die Fasern der äußeren Kammerwandungen sind quer getroffen.

am Foramen interventriculare (Pars membranacea), welches die ursprüngliche Umrandung des Herzschlauches darstellt.

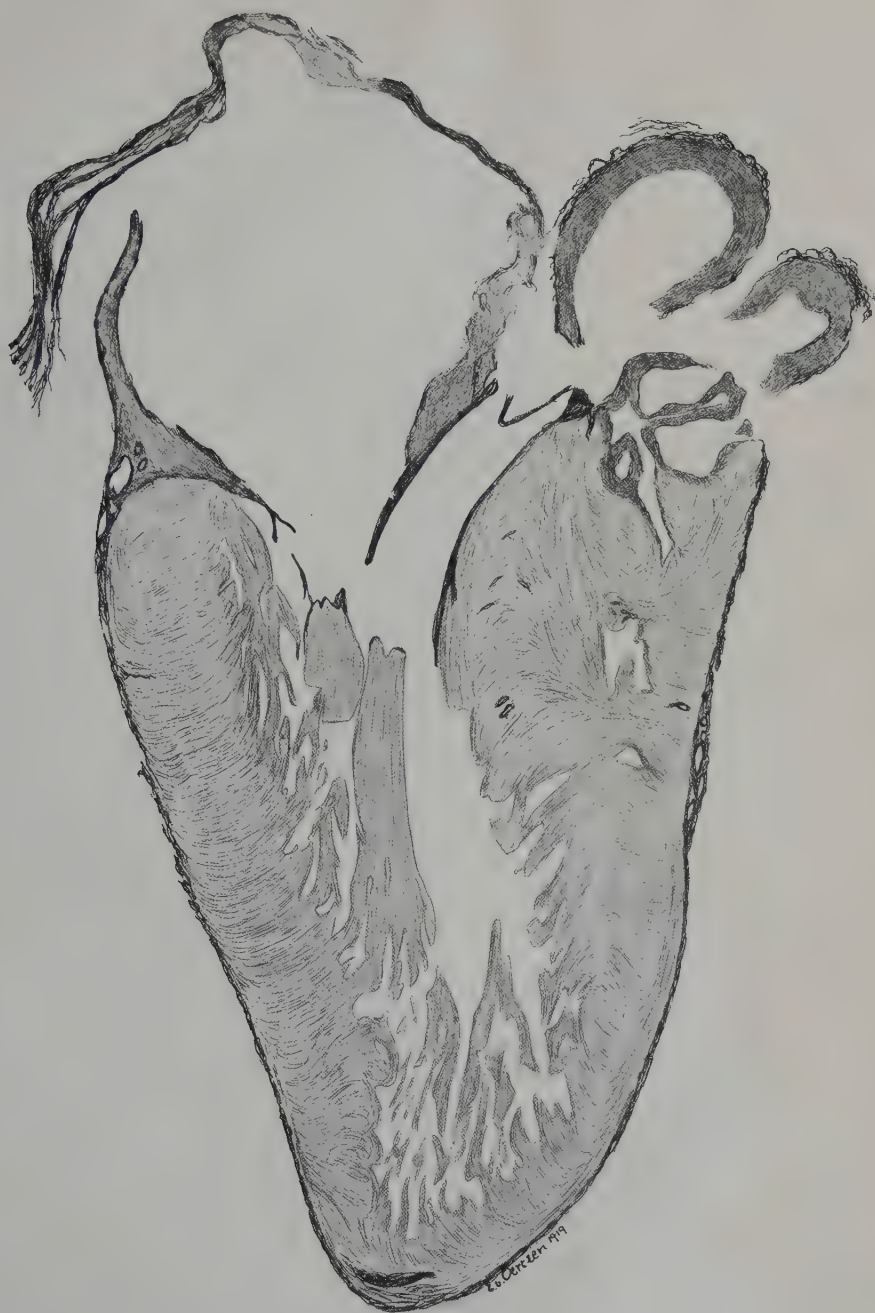
Zur Regulierung des Blutstromes bilden sich am Anfang der Ventrikelschleife Klappen aus, die es ermöglichen, daß die Muskulatur vom Anfang des Herzschlauches (Vorhöfe) nicht in ununterbrochener Flucht in die Fort-

setzung, den Kammerschlauch (Ventrikel), überzugehen braucht. Die Unterteilung und die Regulation durch Klappen ist deshalb nötig, weil mit wachsendem Organismus dem Kammerabschnitt eine Arbeitsleistung zugemutet wird, die eine wesentliche Volumenvermehrung und erhöhte Kraftentfaltung dieses Herzschlauchabschnittes verlangt. Die Abtrennung von Vorhof und Ventrikeln geschieht durch den Annulus fibrosus; dieser dient in erster Linie dazu, Vorhöfe und Kammern infolge der sich heranbildenden verschiedenen Arbeitsaufgaben voneinander zu trennen und den dadurch notwendig gewordenen Klappen als Anheftungsstelle zu dienen. Gleichzeitig säumen sie den offenen Rand des Ventrikelballes ein, u. zw. im zuführenden Schenkel. Als Ursprungssehne für die Ventrikelmuskulatur scheinen sie nicht oder doch nur wenig in Betracht zu kommen, da sie in keinem Verhältnis zu der Masse der Ventrikelmuskulatur stehen. Eine solche Ursprungssehne erscheint auch darum nicht unbedingt erforderlich, da der Herzmuskel trotz der beim Erwachsenen sich immer deutlicher entwickelnden Schichtung auch im postfötalen Leben sich als ein Syncytium ansprechen läßt.

Mir erscheint diese Auffassung von Bau und Entstehung des Herzens, insbesondere des Ventrikelabschnittes, einleuchtender als die sonst in ihrer Beschreibung sehr bestechende Ansicht *Mac Callums*, daß die Ventrikelmuskulatur ein aufgerolltes Muskelband mit 2 Endsehnern, ähnlich der quergestreiften Muskulatur und Wachstumscentren an den Enden des Muskelbandes in den subendokardialen Schichten beider Kammern anzusehen seien. Übrigens finde ich sowohl bei *Mac Callum* wie bei *His* Andeutungen dafür, daß auch sie die Entwicklung des Kammerseptums nicht allein auf Emporwachsen desselben, sondern auf ein Vorstülpen zurückführen, da *Mac Callum* schreibt, daß die Muskelfasern bei der Bildung des Septums vorgedängt werden und *His* von dem Septum ventriculorum angibt, „daß es die Herzwand faltenartig als Leiste nach innen gegen die Lichtung vortreibe“ und späterhin von der „zunehmenden Ausweitung des Ventrikelraumes“ und der „Einfaltung der Wand“ spricht.

Auf die Entstehung der Ventrikel durch Ausstülpungsvorgänge hat aber in erster Linie *Keith* aufmerksam gemacht und schon betont, daß das Interventrikularseptum den konservativsten Abschnitt des ursprünglichen Herzschlauches und die ursprüngliche Umrandung desselben darstellt, von wo aus sich die Ventrikel durch Vorwölbungen ausbilden. Diese in der Literatur wenig aufgegriffene Tatsache ist von *Aschoff* und seinen Schülern wohl zuerst schärfer betont worden; so in dem *Aschoffs*chen Referat bei der Tagung der Deutschen pathologischen Gesellschaft in Erlangen 1910, von *Sato* in der Einleitung zu seiner Arbeit über die Entwicklung der Atrioventrikularklappen, und ich selbst habe ebenfalls mehrfach Gelegenheit gehabt, darauf hinzuweisen.

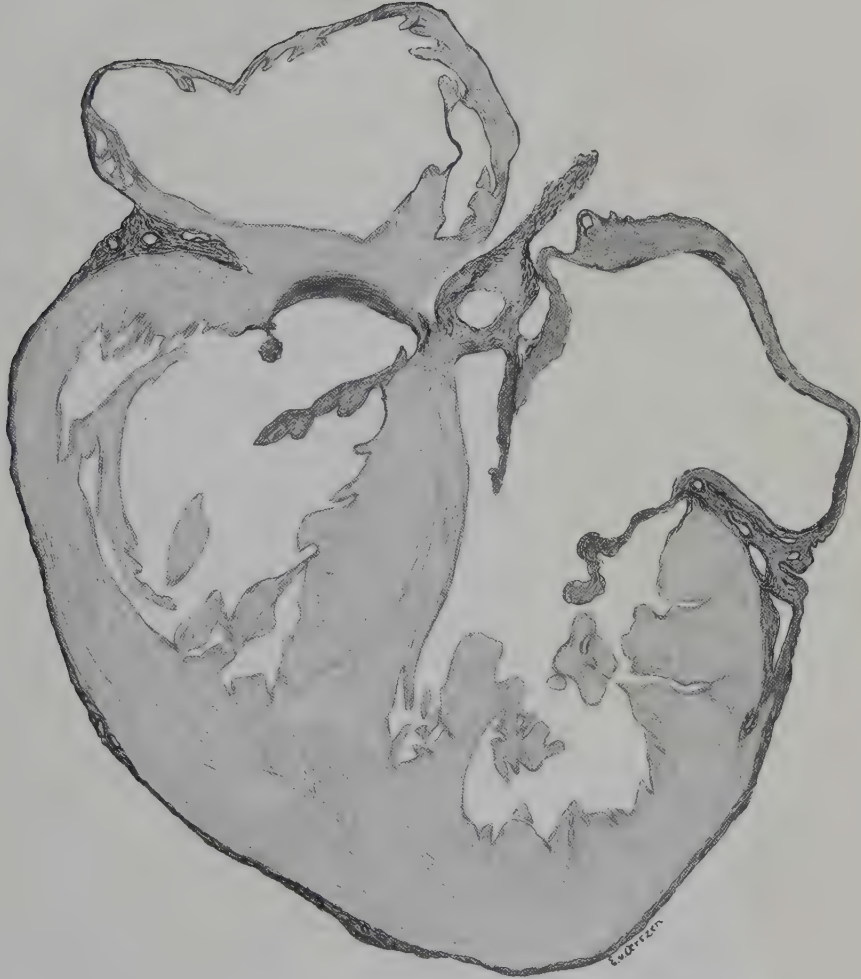
Eine weitere fast völlige Bestätigung dieser Anschauungen finde ich nachträglich in einer Arbeit von *Mall*, Bifid Apex of the Human Heart, The Anatomical Record 1912, VI, Nr. 4. *Mall* beschreibt darin die Spitzen-



Sagittaler Durchschnitt durch den linken Ventrikel eines Foetus von 5 Monaten. Schematische Darstellung des Muskelfaserverlaufs. Noch relativ geringe Lamellenbildung. Ununterbrochenes Einstrahlen der Wandmuskulatur in die Trabecularis und die Papillarmuskeln. Beginnende subperikardiale Schichtung im Spitzenteil der Vorderseite.



Frontalschnitt durch das Herz eines Foetus aus dem 5. Monat. Schematische Darstellung des Muskelfaserverlaufs. Syncytialer Bau der Herzmuskelfaserzüge noch ohne stärkere Schichtung. Ununterbrochener Übergang der Wandmuskelschichten in die Trabecularis und Papillarmuskeln. Beginnende subperikardiale Schichtung. Beginnende Isolierung einer centralen Muskelschicht im Kammerseptum.



Frontalschnitt durch das Herz eines Foetus aus dem 3. Monat. Schematische Darstellung des Muskelfaserverlaufs. Im Septum noch keine centrale Schicht, nur eine links steiler, rechts schräger aufsteigende, den zugehörigen Ventrikeln zuzurechnende, annähernd gleich starke Muskelschicht.

zerklüftung embryonaler Herzen, die er in einem großen Prozentsatz der von ihm untersuchten Herzen gefunden hat. Es besteht bei diesen Herzen eine Verdoppelung der Herzspitze in dem Sinne, daß jeder Ventrikel eine eigene besitzt. Bei dem Herzen eines Embryo von 15 mm Länge ging die Teilung der Ventrikel fast bis zur Basis. Das Foramen interventriculare war noch angedeutet. Die Ventrikel hatten in ihren selbständigen Abschnitten eigene circuläre Muskelfaseranordnung und im Bereiche des Septumspaltes zogen keine Muskelfasern von dem einen zu dem anderen Ventrikel. *Mall* äußert sich im Hinblick auf dieses Herz in dem Sinne, daß es eigentlich richtiger sei, von einer Abwärtsentwicklung der Spitze als von einer Aufwärtsentwicklung des Interventrikularseptums zu sprechen.

Mir scheint, als wenn auf diesen Punkt, der so manche Frage ungewisser lösen läßt, überhaupt nicht genügend geachtet worden ist. Diese Ausstülpungsvorgänge erklären weiterhin, daß es neueren Untersuchern, wie besonders *Mac Callum* und *Mall* bei ihren Präparationen junger Embryonenherzen gelang, die beiden Ventrikel, besonders von hinten her, auseinanderzurollen, eine allerdings in der neueren Herzanatomie sehr verblüffende Tatsache (von der ich mich selbst überzeugen konnte), welche die weitere Zergliederung des Herzens in Muskellamellen und die von beiden Autoren gegebene interessante Darstellung über den Muskelverlauf zur Folge hatte. *Mac Callum* hebt aber schon hervor, daß bei Teilung älterer Herzen, die im Septum mehr horizontal verlaufende Muskulatur, welche das Mittelstück seines fortlaufenden Muskelbandes und die Verbindung zwischen rechtem und linkem Ventrikel darstellen soll, im Verhältnis zu der Wandmuskulatur unverhältnismäßig dünn sei und glaubt, daß das auf ein Zurückbleiben der Fasern im Wachstum zurückzuführen sei, während die Wandfasern, in denen mit den Enden seines Muskelbandes die Wachstumscentren gelegen sind, stärker an Masse zunehmen und die Fasern die Wände mehrfach umlaufen. Ich kann mich dieser Erklärung nicht anschließen, sondern sehe in der Mittelschicht des Septums eine erst im fötalen Leben und hauptsächlich postfötal auf funktioneller Basis sich entwickelnde Schicht, die vornehmlich nur dem linken Ventrikel als Triebwerk zugehört und natürlich, wenn man sie an älteren Herzen künstlich teilt, was wegen der Parallelschichtung verhältnismäßig leicht möglich ist, in ihren Einzelhälften im Verhältnis zu der ungeteilten Triebwerkschicht in der Wand zu dünn erscheinen muß.

Wenn ich somit betonen möchte, daß trotz aller Schichtenbildung in den Ventrikeln, die auf funktionelle Inanspruchnahme der einzelnen Muskel zurückzuführen ist, der Charakter der Herzmuskulatur als Syncytium auch im erwachsenen Herzen nicht verloren geht, so fragt es sich, ob man trotzdem in den Mechanismus der Ventrikelcontraction einen Einblick bekommen kann. Die allgemein gültigen Ansichten darüber, wie sie besonders von *Hesse*, *Krehl* und *Keith* vertreten sind, bestehen meines Erachtens auch jetzt noch zu Recht und ich will daher auf Einzelheiten nicht weiter eingehen. Dem *Krehl'schen* Triebwerk ist, so glaube ich, nach wie vor zuzusprechen, daß es,

allerdings auf funktionell sich entwickelnder Basis, als ein besonderer Wandabschnitt des Herzens betrachtet werden muß, der in seiner Trichterform und sphinkterartigen Anordnung ein Auspressen des Ventrikelhohlraumes bewirkt und der bei seinem Infunktiontreten eigentlich die Längsachse des Herzens verlängern müßte, was durch die im Septum und an der äußeren Wand auf- und absteigenden Längsfasern jedoch kompensiert wird.

Wie sich dabei im Innern des Herzens die Wandschichten zusammenschieben, wie durch Ineinanderfalzen der Trabekel und Papillarmuskeln der Ventrikelhohlraum zum Verschwinden kommt und das Blut den einzig möglichen Ausweg in die arterielle Ausflußbahn hineinzwängen muß, dafür gewinnt man auf stufenförmigen Horizontalschnitten durch die Kammern einen Einblick, auf den *Aschoff* die Aufmerksamkeit gelenkt hat.

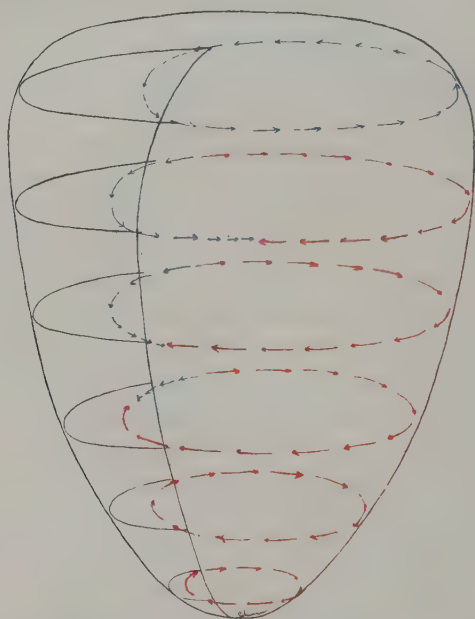
Man sieht nämlich auf solchen Querschnitten durch die Kammern eine eigenartige Fiederung der Herzmuskulatur (Tafel IX), die eine ganz bestimmte Anordnung und Verlaufsrichtung hat. Ich bemerke dabei, daß diese Fiederung schon in der *Krehlschen* Monographie auf Tafel 3, Fig. 8 a und 8 b, ausgezeichnet wiedergegeben ist, ohne daß allerdings näher auf dieselbe eingegangen wird. Man sieht etwa in der Mitte der Wandmuskulatur des linken Ventrikels und der Scheidewand federartige fortlaufende Figuren auftreten, die auf die Septierung der Wandmuskulatur und auf Zusammenlagerung der Trabekel zurückzuführen ist. Die Rippe der das Lumen umkreisenden Fiederung liegt dabei ungefähr in der Mitte der Triebwerkschicht und von ihr aus fiedert sich die Muskulatur etwas stärker gekrümmt nach innen, etwas steiler nach außen, in dem Sinne, daß die trichterförmige Öffnung der Fiederungen von hinten nach vorn zeigt, so, als ob eine Feder mit der Wurzel des Federkiels voran im Sinne der Uhrzeigerdrehung auf die Horizontalschnitte der Ventrikelwand gelegt wäre, wenn man die Schnitte von unten betrachtet. Diese Fiederung ist am ausgesprochensten in den Außenbezirken des linken Ventrikels, etwa von der vorderen bis zur hinteren Ventrikelfurche reichend. Im Septum, in dem mittleren und oberen Abschnitt des Herzens wird sie undeutlicher, ohne jedoch zu verschwinden. In den Spitzenabschnitten des linken Ventrikels läßt sie sich ziemlich gleichmäßig ringsum verfolgen. Es sei bemerkt, daß am rechten Ventrikel diese Fiederung zwar auch zu erkennen, aber wegen der trabekulären Zerklüftung der Wand und ihrer geringen Dicke nicht annähernd so gut beobachtet werden kann. An dieser Fiederung läßt sich nun ein bestimmter schematischer Verlauf erkennen. Wie schon erwähnt, umgreift die Fiederung im Spitzenteil den linken Ventrikel vollständig. Je weiter man nach oben kommt, desto mehr beschränkt sie sich mit dem Breiterwerden des Septums auf die äußeren 2 Drittel, schließlich nur noch auf die äußere Hälfte des Ventrikelumfanges. Dort, wo sie im Bereiche der vorderen und hinteren Gefäßfurche als fortlaufende Fiederung der äußeren Wand in ihrer prägnanten Gestalt aufhört, scheint eine Art Wirbel sich zu bilden, in welchem Fiederungen aus dem Septum und aus der Wand des rechten Ventrikels zusammenlaufen. Im Septum selbst ist die Fiederung keine so gesetz-

mäßige; sie verläuft mehr parallelfaserig mit deutlichen fiederförmigen Einbiegungen nach dem linken Ventrikel zu und undeutlicheren Einstrahlungen gegen den rechten Ventrikel. Je weiter man nach oben kommt, d. h. etwas über die Septummitte hinaus, desto komplizierter zeigt sich die Fiederung im Septum selbst. Die Beschreibung ist in voller Präzision nicht möglich, es scheint aber so, als wenn von hinten her die Fiederung nach dem rechten Ventrikel zu eine gegensinnige wird als wie links und daß die von vorn und hinten in das Septum einstrahlenden Fiederungen sich unter Wirbelbildung aneinander vorbeischieben, wobei der linke Ventrikel ständig mit seiner größeren Muskelmasse das Feld beherrscht. Das auffälligste an dieser Gesamtfiederung des Ventrikels ist jedoch das, daß sie sich in den allerobersten Abschnitten, gegen die Basis zu, im Septum zunächst mehr indifferent verhält und schließlich in den letzten Stufenschnitten in der Außenwand völlig umkehrt, so daß die Fiederung sodann nicht mehr, wie in den tieferen Abschnitten, die Außenwände von hinten nach vorn, sondern von vorn nach hinten umkreist (Fig. 26).

Was läßt sich nun aus diesem eigenartigen gesetzmäßigen, an Tierherzen ebenfalls bestätigten Befunde schließen bzw. wodurch wird er bedingt? Das Einstrahlen der Fiederung in die Trabekel und hauptsächlich in die Papillarmuskeln läßt sich nach *Aschoff* am besten vergleichen mit dem System der Irisblende. Die am diastolischen Herzen gestreckt verlaufenden Fiederungen krümmen sich sehr viel stärker am systolischen Herzen. Dabei schieben sich die Trabekel und Papillarmuskeln unter Verstreichenlassen der intertrabeculären Lücken derart vor- und umeinander, daß das Lumen des Kammerhohlraums sich immer mehr verengt, u. zw. geschieht die Vor- und Umeinanderlagerung in der Richtung von hinten nach vorn im Sinne einer Torquierung des Herzens von links nach rechts bzw. für den rechten Ventrikel von rechts nach links; beide Bewegungen sind außerdem noch so orientiert, daß sie von hinten unten außen nach vorn oben zur Mitte gerichtet sind. Es zeigt sich also, daß das Lumen der Einflußbahn bis etwa zur Höhe der Papillarmuskelspitzen schräg nach der Ausflußbahn beider Ventrikel hin durch schraubenartige Bewegung der Trabekel und Triebmuskulatur im Sinne eines Irisblendenverschlusses zum Verschwinden gebracht wird. Die Indifferenz der Septummuskulatur bei der Fiederung in den oberen Abschnitten erklärt sich dabei durch das Fehlen der Papillarmuskeln und größerer Trabekel. Es handelt sich eben um den Abschnitt der Aortenzuströmungsbahn, der selbstverständlich für das Entweichen des Blutes freibleiben muß. Schwieriger zu deuten ist dagegen die Umkehr der Fiederung in den obersten Ventrikelabschnitten des linken Ventrikels. Sie tritt erst auf, wenn die Papillarmuskelspitzen überschritten sind, d. h. mit anderen Worten, in dem Bereich des linken Ventrikels, der trabekelärmer ist, keine Papillarmuskel hat und ausschließlich der Einflußbahn zugehört und in dem der Blutstrom die entgegengesetzte Richtung hat als wie im gesamten tieferen Herzgebiet mit umgekehrter Fiederung, aus dem das Blut in der Systole in die Aortenbahn getrieben wird. Das ist die

einzigste Erklärung, die ich dafür angeben kann und ich sehe darin eine weitere Stütze für die funktionelle Differenzierung der Ein- und Ausflußbahn der Kammern. Für den rechten Ventrikel sind die architektonischen Verhältnisse, wie sich schon aus der Entwicklungsgeschichte ergibt, so viel komplizierter und die Wandungen in ihrer trabeculären Zerklüftung und geringen Dicke so wenig übersichtlich, daß an ihm ähnliche Beobachtungen nicht bewiesen werden können. Ich glaube aber, daß man im Prinzip gleichartige Verhältnisse wird annehmen können. Es zeigt sich wieder auf diesen Schnitten und in der Beobachtung dieser Herzmuskelfiederung, wie innig Trabekelwerk und

Fig. 26.



Schematische Darstellung des Verlaufs der Muskelfiederung auf Horizontalschnitten durch die linke Kammer des erwachsenen menschlichen Herzens. Umkehr der Fiederung in den obersten Ventrikelabschnitten der Einflußbahn im Bereiche des Klappentrichters. Unsichere Fiederung in den oberen mehr glatten Scheidewandabschnitten.

Triebwerk zusammengehören, wie die Papillarmuskeln nicht nur als Klappensteller zu wirken haben, sondern auch in ihrer Mächtigkeit zur Trennung von Ein- und Ausflußbahn und zur Ausfüllung des systolischen Herzlumens dienen. Ich sehe darin auch eine weitere Stütze dafür, daß die Kammern tatsächlich Ausstülpungsprozessen ihr Entstehen verdanken und selbständige, in gewisser Beziehung voneinander unabhängige Herzabschnitte darstellen. Nach dieser Beobachtung kann auch die hauptsächlich von *Mac Callum* und *Mall* betonte muskuläre Verbindung beider Ventrikel durch das Septum nicht eine so hochgradige sein wie es von ihnen behauptet und abgebildet wird. Jedenfalls muß funktionell eine größere Unabhängigkeit beider Kammern voneinander angenommen werden.

V. Der Sinusknoten.

Keith-Flackscher Knoten, Sinusknoten oder Sinoauricular-knoten.

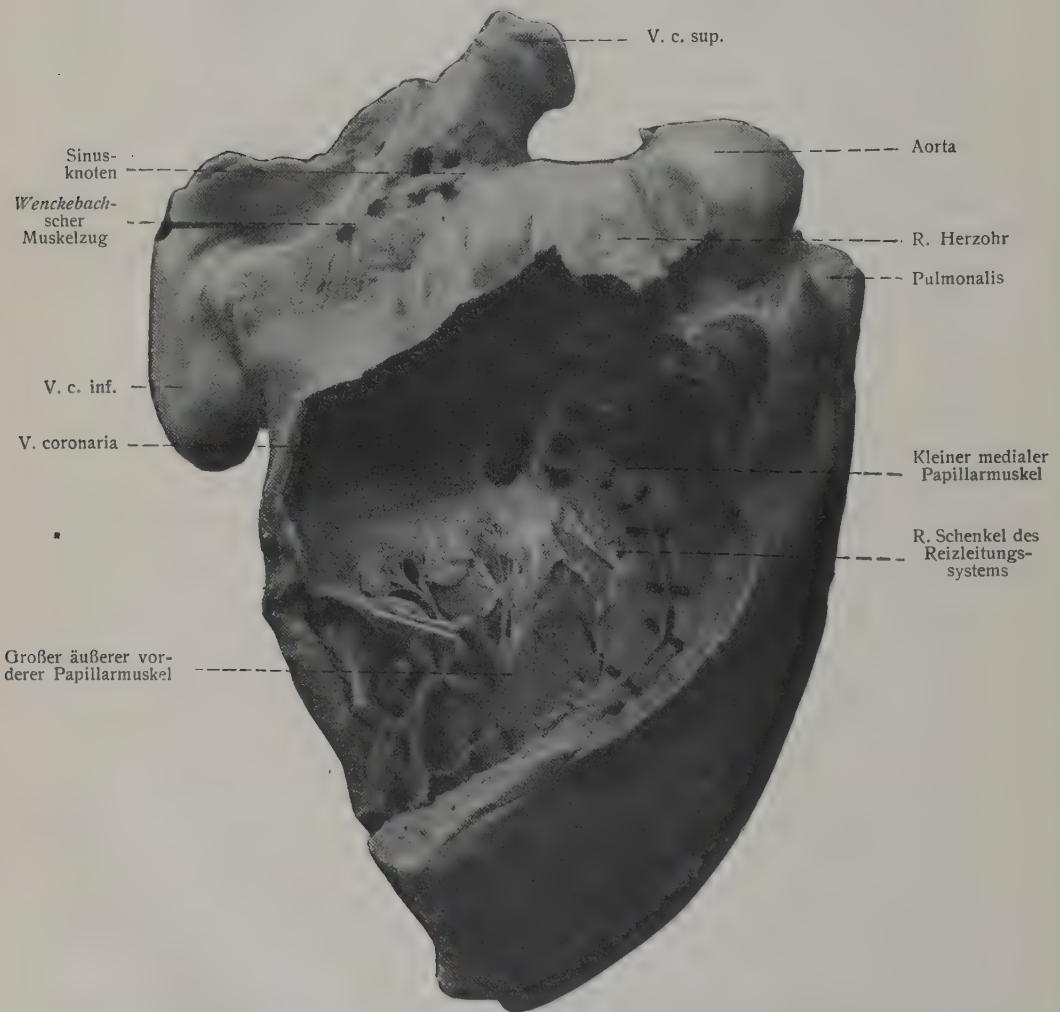
Die Kenntnis dieses Muskelsystems spezifischer Struktur verdanken wir, wie schon im Namen erwähnt, den Untersuchungen von *Keith* und *Flack*, welche im Jahre 1907 zuerst von ihm berichten. Die Anregung zu genauerer anatomischer Durchforschung des einmündenden Venengebietes ist auf *Wenckebach* zurückzuführen, welcher im Hinblick auf den Bau der Herzen niederer Wirbeltiere auch am Menschenherzen zwischen dem eigentlichen Sinusabschnitt und dem Vorhof ein verbindendes Muskelbündel vermutete. Wenn auch der von ihm präparierte Muskelzug nicht als das spezifische Muskelsystem zwischen Sinus und Vorhof anzusehen ist, so bleibt es doch sein Verdienst, die Aufmerksamkeit der Anatomen auf dieses physiologisch wichtige Gebiet hingelenkt und dadurch zur Entdeckung des sinoauriculären Verbindungssystems beigetragen zu haben. Im Jahre 1908 konnte ich gelegentlich meiner Nachuntersuchungen über den *Wenckebachschen* Muskelzug die Angaben von *Keith* im wesentlichen bestätigen und eine genauere Beschreibung des von mir Sinusknoten genannten Systems geben. In der Folgezeit ist der Sinusknoten von verschiedenen Seiten weiter untersucht und beschrieben worden, so von *Aschoff*, *Thorel*, *Mönckeberg*, *Schwartz*, *B.* und *A. Oppenheimer*, *Nagayo*, *Cohn*, *Ganter* und *Zahn*, *Jarisch*, *Hedinger*, *Berger*, *Romeis* u. a. Die Untersuchungen beziehen sich allerdings zum Teil auf das Tierherz oder geben beim Menschenherzen nur die Beschreibung von mikroskopischen Schnitten pathologisch veränderter Herzen. Die den normalen Sinusknoten betreffende Beschreibung *Thorels*, welche auch *Tandler* in seine Monographie übernommen hat, weicht so wesentlich von meinen eigenen und *Keiths* Befunden ab, daß die Angaben kaum in Einklang zu bringen sind. Eine Bestätigung der *Thorelschen* Befunde liegt im übrigen bis zur Zeit nicht vor; vielmehr sind seine Angaben über die verbindenden Ausläufer des Sinusknotens zum Atrioventrikularknoten von der Mehrzahl der Autoren abgelehnt worden.

Das von mir als Sinusknoten bezeichnete *Keith-Flacksche* sinoauriculäre Verbindungssystem (Fig. 27 u. Tafel XIII*) liegt an der Einmündungsstelle der Vena cava superior in den rechten Vorhof, u. zw. im Sulcus terminalis oder Sulcus des Cavatrichters, welcher sich vom Herzohr-Cava-Winkel auf die Cava inferior zu erstreckt, angelehnt an die starke Muskelleiste, welche als Crista terminalis über das Dach des Vorhofes zieht und den Abschluß gegen das Sinusgebiet, die einmündenden großen Herzvenen, vermittelt. Er bildet in seiner Gestalt eine unregelmäßige Spindel, beginnt ungefähr am Herzohr-Cava-Winkel und erstreckt sich, im Sulcus entlanglaufend, für gewöhnlich ungefähr bis dahin, wo der *Wenckebachsche* Muskelzug den Sulcus terminalis überbrückt. Absolute Maße sind schwer zu geben, da der Sinusknoten in seiner

* Die Präparation der spezifischen Muskelsysteme in den Herzen der Fig. 27; Tafel X, Fig. 2 und Tafel XI ist von Herrn Privatdozent Dr. A. Jarisch ausgeführt.

Ausdehnung der individuellen Herzgröße zu entsprechen pflegt. Nach Berechnungen an Schnittserien trifft man ihn aber, einschließlich seiner nur mikroskopisch zu verfolgenden Ausläufer in einer Länge von 2—3 cm im erwachsenen Herzen an, wobei sein unteres Ende ungefähr bis zur Mitte des

Fig. 27.



Menschliches Herz mit präpariertem Sinusknoten im Sulcus des Cavatrichters und präpariertem rechten Schenkel des Reizleitungssystems. (Die Muskelbündel sind mit schwarzen Papierstreifen unterlegt.) Am unteren Ausläufer des Sinusknotens nach der Vena cava inferior zu ist der *Wenckebachsche* Muskelzug zum Teil präpariert.

Sulcus terminalis zwischen Herzhohr-Cava-Winkel und Cava inferior reicht. Die oberen Ausläufer sind bis kurz unterhalb des Herzhohr-Cava-Winkels zu verfolgen, in anderen, selteneren Fällen gehen sie über denselben hinaus bis an die mediale Wand des Cavatrichters. Auf Querschnitten durch den Sulcus, auf Schnitten also, welche den Cavatrichter, die Crista terminalis mit dem

Sinusknoten und die seitliche Vorhofswand treffen, beträgt die Dicke des Sinusknotens an der stärksten Stelle (in der Richtung vom Perikard zum Endokard gemessen) beim erwachsenen Herzen ca. 1—2 mm. Die Ausdehnung in der Breite, d. h. in der Richtung von der Vene zum Vorhof gemessen, ist schwerer zu bestimmen, da sie individuell schwankt und naturgemäß viel mehr von der Schnittrichtung abhängig ist.

Die Form des Sinusknotens entspricht, wie gesagt, etwa der einer unregelmäßigen Spindel, wobei die Anschwellung der Spindel dem von mir als Kopfteil bezeichneten Abschnitte entspricht, welcher dem Herzohr-Cava-Winkel benachbart liegt und für gewöhnlich ca. $\frac{1}{2}$ —1 cm unterhalb desselben in größter Ausdehnung getroffen wird. Von diesem Kopfteile aus verzweigt sich der Sinusknoten nach abwärts allmählich, um in den sog. Stammteil überzugehen, welcher seinerseits in die zuletzt nur mit starker Vergrößerung sichtbaren unteren Ausläufer sich verliert. Nach oben hin nimmt der Kopfteil sehr schnell an Dicke ab und geht ebenfalls in feine (die oberen) Ausläufer über.

Die Lage des Sinusknotens ist eine hauptsächlich subperikardiale, d. h. zwischen ihm und Perikard ziehen in der Hauptausdehnung keine anderen Muskelfasern mehr vorbei. Vom Perikard ist er durch lockeres Zellgewebe und Fettgewebe getrennt. Er kann aber auch dem Perikard unmittelbar angelagert sein. Am unteren Ende liegen die Ausläufer nicht mehr subperikardial, da sie hinter den *Wenckebachschen* Muskelzug zu treten pflegen; sie gewinnen hier eine mehr subendokardiale Lage und können bis an das Endokard selbst heranrücken.

Der Sinusknoten trennt die Muskulatur des Cavatrichters und Herzohres bzw. Vorhofes nur unvollständig voneinander. Endokardialwärts ziehen kleinere und größere Gruppen gewöhnlicher Herzmuskulatur vom Cavatrichter zum Vorhof und oftmals kann man auch durch die Randpartien des Sinusknotens Bündelchen gewöhnlicher quergestreifter Herzmuskulatur, gut abgegrenzt, hindurchziehen sehen.

Am gefärbten Präparat fällt der Sinusknoten besonders durch seinen Bindegewebsreichtum auf. In nach *v. Gieson* gefärbten Schnitten ist er leicht als roter Fleck bei Betrachtung mit schwacher Linse oder mit dem unbewaffneten Auge zu erkennen. Dieses Bindegewebe bildet ein wirres Maschenetz, in dessen Lücken feine Muskelfasern liegen, die sich deutlich von der gewöhnlichen Herzmuskulatur unterscheiden. Die Muskelfasern sind außerordentlich schmal, meist nur in kurzen Abschnitten (auf Querschnittsbildern) zu verfolgen; sie zeigen fibrilläre Struktur, sind aber fibrillenärmer als die gewöhnliche Herzmuskulatur. Auf Querschnitten sieht man, ähnlich wie bei den Reizleitungsfasern, die Fibrillen oftmals kranzartig an der Peripherie der Fasern angeordnet, einen Sarkoplasmahof umfassend, in welchem die Kerne liegen. Diese unterscheiden sich ebenfalls von denen der übrigen Herzmuskulatur, indem sie meistens die eigentliche Stäbchenstruktur vermissen lassen, dafür mehr von spindliger Form, oft leicht gebogen sind und von dichter Struktur zu sein scheinen.

Die Querstreifung an den Muskelfasern habe ich mit Sicherheit nicht feststellen können, wenn sie auch bei Betrachtung der Fasern mit Ölimmersion zuweilen angedeutet erscheint.

Im Centrum des Sinusknotens oder leicht exzentrisch sieht man stets eine besonders kräftige Arterie liegen, welche im allgemeinen so konstant und für das histologische Bild des Sinusknotens so typisch ist, daß man sich nach ihr am leichtesten und schnellsten über die Lage des Sinusknotens orientieren kann. In der Wand dieser Arterie sieht man zuweilen auffallend starke Züge glatter Muskelfasern, die auf Querschnitten perlschnurartig in dieselbe eingelagert sind. Allerdings habe ich diesen Befund außer beim Hunde im Menschenherzen meistens bei pathologisch verändertem rechten Vorhof gefunden. Die Muskelfasern des Sinusknotens zeigen, besonders beim Huftiere, einen gewissen Glykogenreichtum und sie gleichen darin den Kammerabschnitten des Reizleitungssystems, während sie sonst durchaus dem Vorhofsabschnitt desselben nahe stehen. Nach *Nagayo* ist der Unterschied in dem Glykogengehalt der Sinusknotenfasern gegenüber den gewöhnlichen Vorhofsfasern ein beträchtlicher (bei Pferd, Rind, Schaf und Schwein), wie auch aus seinen Figuren hervorgeht. Ich selbst habe beim Kalb und Hammel denselben Befund erheben können, habe aber beim menschlichen Herzen, wohl infolge zu wenig frischen Materials, nur sehr geringe positive Befunde erhalten. Der Sinusknoten ist in seiner Umgebung nicht bindegewebig abgescheidet, wie die Kammerabschnitte des Reizleitungssystems, sondern er steht wie der Vorhofsteil des *Aschoff-Tawaraschen* Knotens, dem er ja auch histologisch ähnlich ist, mit der gewöhnlichen Vorhofsmuskulatur in fließender Verbindung. Man kann allerdings wohl sagen, daß z. B. im Bereiche des Kopfteils die Übergänge im wesentlichen in einer Zone liegen (bei Betrachtung mit schwachen Linsensystemen). Eine scharfe Grenze zwischen den beiden Faserarten läßt sich aber nicht ziehen. Die Sinusknotenfasern lassen sich oft noch eine kurze Strecke weit zwischen die gewöhnlichen Herzmuskelfasern verfolgen. Der Übergang von einer Faserart in die andere ist so allmählich, daß man selbst bei Betrachtung mit Ölimmersion keine bestimmte Wechselzone angeben kann. Das Hauptkriterium bei dem Übergang der einen Faserart in die andere bleibt das Verschwinden bzw. Auftreten der Querstreifung und der Wechsel in der Kernform. Während man am Kopfteil keine dominierende Verlaufsrichtung der spezifischen Muskelfasern angeben kann, nehmen die Fasern in Stamm und Ausläufern eine mehr oder weniger dem Sulcusverlauf parallele Richtung an, d. h. wir finden auch im Stamm noch wirre geflechtartige Anordnung, aber anderseits, je weiter man abwärts kommt und je dünner der Sinusknoten wird, mehr in einer Richtung verlaufende gewellte Fäserchen. Die oberen und unteren Ausläufer stellen schließlich nur aus wenigen schmalen Fasern zusammengesetzte Bündelchen dar, die im lockeren Bindegewebe isoliert verlaufen, sich zwischen die gewöhnliche Muskulatur einschieben und zuletzt nur an fortlaufenden Serienschnitten zu erkennen sind, wobei sie aber

Fig. 1.

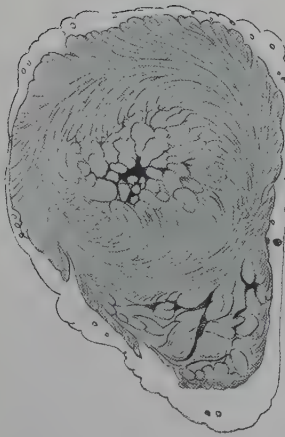


Fig. 2.

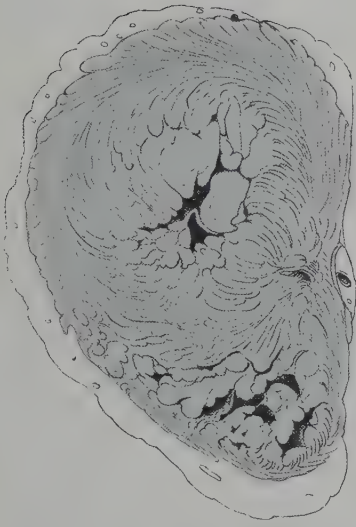


Fig. 5.

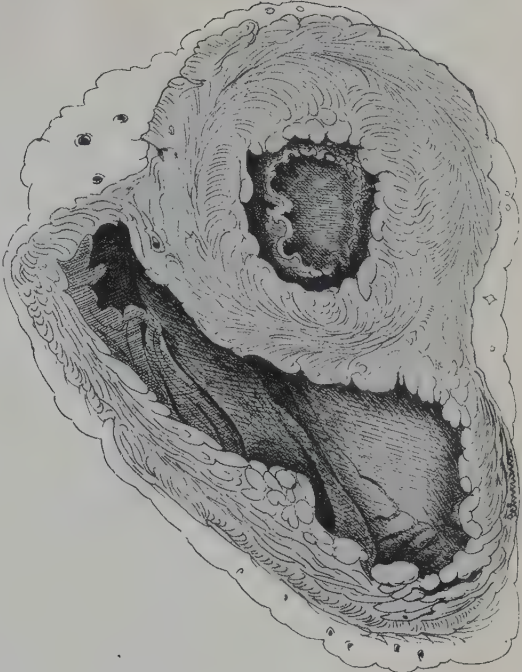
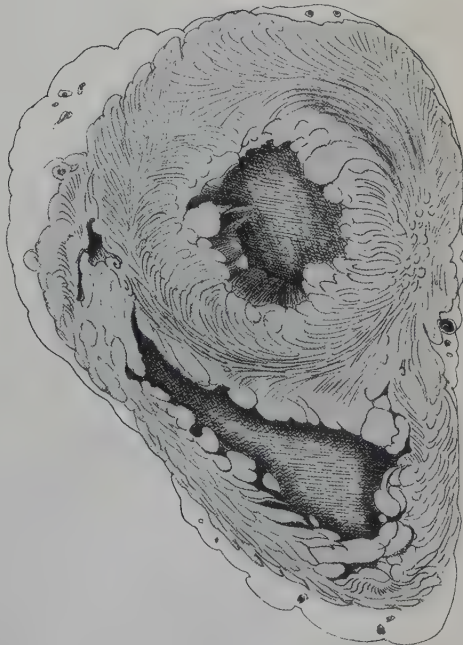


Fig. 4.



Horizontalschnitte durch die Kammern eines erwachsenen menschlichen Herzens. Eigenartige Fiederung der Muskelfasern des linken Ventrikels, welche nach dem Lumen zu an den Lamellenverlauf einer Irisblende erinnert. Umkehr der Fiederungsrichtung oberhalb der Papillarmuskelspitzen.

ziemlich lange noch die charakteristischen Merkmale der Sinusknotenfasern aufweisen.

Wie schon erwähnt, ist der Übergang des Sinusknotens in die umgebende Vorhofs- und Cavamuskulatur ein allseitiger, fließender. Den Angaben *Thorels*, die zum größten Teil von *Tandler* (auf Grund der *Thorelschen* Präparate) übernommen und bestätigt sind, kann ich meinerseits nicht zustimmen. Es ist durch die Beschreibung, die beide Autoren vom Aufbau des Sinusknotens geben, eine gewisse Verwirrung in die an sich so einfach liegenden anatomisch histologischen Verhältnisse an der Einmündungsstelle der Cava superior gekommen, die vor allem darauf zurückzuführen ist, daß die Anwesenheit von hellen sarkoplasmareichen Röhrenfasern vom Typus der sog. *Purkinjeschen* Fasern in der Nachbarschaft des Sinusknotens zu kompliziertesten Beschreibungen des sinoauriculären Verbindungssystems geführt hat.

Der Hauptgrund für die verschiedene Auffassung über den Aufbau des Sinusknotens scheint mir darin zu liegen, daß *Thorel* und *Tandler* dem Sinusknoten Faserelemente zurechnen, welche eigentlich nicht zu ihm gehören und welche auch aus vergleichend anatomischen Gründen kaum ihm beigezählt werden können. Das, was für mich im Einklang mit *Keith* den Sinusknoten darstellt, ist die an der Basis der rechten Sinusklappe gelegene spezifische, aus zierlichen Muskelfasern aufgebaute Muskulatur in der von mir gegebenen Ausdehnung. Die im Cavatrichter und Vorhof sonst sich findenden, oft in unmittelbarer Nähe des Sinusknotens liegenden, von *Thorel* als Röhrenfasern bezeichneten Muskelemente, welche *Tandler* sogar als bis in den linken Vorhof ziehende Bündel beschreibt, kann ich dem Sinusknoten nicht zurechnen, sondern ich betrachte sie als Elemente der gewöhnlichen Vorhofsmuskulatur, wie ich aus meinen zahllosen Untersuchungen an vielen Herzen von Individuen jeden Alters entnehmen muß und weiter noch besprechen werde.

Es ist nicht leicht, sich aus *Thorels* Beschreibungen eine Vorstellung davon zu machen, wie er sich den Aufbau des Sinusknotens und seine Beziehungen zu den breiten Röhrenfasern denkt. Da unsere Ansichten über den schmalfaserigen Sinusknoten, soweit ich das aus seinen Beschreibungen entnehme, wohl keine größeren Differenzen aufweisen, beziehen sich die abweichenden Anschauungen im wesentlichen auf die breiten Röhrenfasern am Cavatrichter und deren Beziehungen zum Sinusknoten. Nach meinem Dafürhalten (und ich befinde mich dabei im Einklang mit *Aschoff*, *Keith*, *J. Mackenzie*, *Mönckeberg*, *Fahr*, *Jarisch*, *Ceelen* u. a.) handelt es sich bei den am Cavatrichter gefundenen an *Purkinjesche* Fasern erinnernden Muskelfasern nicht um spezifische Systeme, die mit dem Sinusknoten Beziehungen haben. Jedenfalls habe ich nie breite Röhrenfasern aus den schmalfaserigen Elementen des Sinusknotens heraustreten gesehen oder überhaupt in direktem Zusammenhang mit ihnen angetroffen. Sicher ist, daß der Sinusknoten mit seinen von mir beschriebenen unteren und oberen Ausläufern aufhört und nicht in breite Röhrenfasern übergeht, die zum Atrioventrikularknoten führen.

Ebensowenig steht er in anderen Abschnitten mit *Purkinjeschen* Fasern des breiten Kammertypus in Systemverbindung, wenn nicht zufällig in dem einen oder anderen (meist älteren) Herzen die Vorhofsmuskulatur gerade besonders viel der breiten „Röhrenfasern“ aufweist.

Nach meiner Ansicht lassen sich die abweichenden Befunde über das Vorkommen der Röhrenfasern am Vorhof und Cavatrichter auf verschiedene Weise erklären. Die Vorhofsmuskulatur zeigt als solche, wie auch *Mönckeberg* es schon hervorgehoben hat, starken Wechsel in Kaliber und Struktur der einzelnen Muskelfasern; das hängt, abgesehen von den sehr häufigen pathologischen Veränderungen des Vorhofes, von seinem schwankenden Bindegewebsreichtum, vor allem auch von dem Alter des Individuums ab. Ferner spielt die Art der Fixierung und eventuelles vorheriges Ausstopfen des Vorhofes eine Rolle; auch ist zu berücksichtigen, daß man gerade bei den am Cavatrichter aufsteigenden gewöhnlichen Vorhofsfasern solche vom Aussehen der Röhrenfasern antreffen kann, wenn man sie in der Nähe ihrer Ursprungs- oder Endigungsstelle im Schnitte vor sich hat, da ich gerade im Bereich von Sehnenansätzen relativ häufig die erwähnten Röhrenfasern und scheinbare bindegewebige Einscheidungen derselben beobachtet habe. Daß *Mönckeberg* bei einem fast 100jährigen Manne nicht nur den Cavatrichter, sondern fast den ganzen Vorhof aus besagten Muskelfasern aufgebaut fand, sei nebenbei bemerkt. Ich selbst habe bei meinen Untersuchungen am Herzen von Fällen chronischer Arrhythmie ganze Bündel solcher Fasern, auch von Bindegewebe umgeben, gefunden; in einem Falle war der *Wenckebachsche* Muskelzug, welcher deutliche Zeichen bindegewebiger Entartung aufwies, in seinen noch erhaltenen Muskelementen fast ganz aus solchen Fasern zusammengesetzt. In diesen Fällen war aber das Pathologische unverkennbar.

Abgesehen von all diesen Möglichkeiten kommen aber auch sonst, in scheinbar gesunden Vorhöfen, Muskelfaserzüge vom *Purkinjeschen* Typus vor, was ich nicht leugnen möchte und nicht geleugnet habe. Nur fehlt das Kriterium des Systems, es fehlt die Konstanz der Befunde, es fehlen die besonderen Einscheidungen, die topographischen Beziehungen zum Sinusknoten und Atrioventrikularknoten. Es fehlen deshalb sowohl nach *Thorel* wie nach *Tandler* einheitliche Angaben über die Verlaufsrichtung der von ihnen gefundenen Fasern. Es werden alle möglichen Übergänge angegeben, und auch eine Beschreibung der endgültigen Verbindung zwischen Sinusknoten und Atrioventrikularknoten durch die erwähnten breiten Röhrenfasern steht immer noch aus.

Es ist auf diese Frage näher eingegangen worden, weil der Physiologe und Kliniker sich auf die anatomischen Daten stützen muß und weil durch *Tandlers* Monographie, die vielen Forschern als Grundlage dienen wird, die entgegenstehende Ansicht weite Verbreitung finden muß. In Wirklichkeit sind aber die anatomischen Verhältnisse des Sinusknotens viel einfacher und unkomplizierter, als sie nach *Thorels* und *Tandlers* Angaben erscheinen.

Ich wiederhole daher, daß eine isolierte anatomische spezifische Muskelverbindung durch breite Röhrenfasern zwischen Sinusknoten und Atrioventrikularknoten meines Wissens nicht besteht, daß bei dem allseitigen Übergehen der Sinusknotenfasern in die Vorhofsmuskulatur eine solche nicht zu erwarten ist und daß die anatomische Verbindung zwischen Sinusknoten und Atrioventrikularknoten, wenn man vom Nervensystem absieht, über welches noch keine sicheren Befunde vorliegen, durch gewöhnliche Vorhofsmuskulatur gegeben sein muß. Für den Physiologen aber wie für den Kliniker ist es von prinzipieller Bedeutung, ob er eine fortlaufende Systemverbindung vom Sinus bis zu den Ventrikeln oder mehr die Anordnung von getrennten Centren anzunehmen berechtigt ist.

Daß der Gedanke an solche Verbindungen ein naheliegender ist, ist ohne weiters zuzugeben, wenn man Entwicklungsgeschichte und vergleichende Anatomie bedenkt. So bestehen fließende Übergänge im embryonalen Menschenherzen in den ersten Lebensmonaten, desgleichen im Herzen der Fische, Amphibien und vieler Reptilien. Bei letzteren aber finden wir schon die ersten Unterbrechungen an der Einmündungsstelle des linken Ductus Cuvieri; so bei Iguana unvollständig, beim Krokodil vollständig. Es ist daher wohl unwahrscheinlich, daß beim höheren Wirbeltier, bei Säugetier und Mensch, wo die Coronarvene und das Sinusseptum sich trennend einlagern, diese Verbindungen wieder auftreten sollten.

Im niederen Säugetier ist zwar, wie ich öfters hervorgehoben habe, der Sinusknoten verhältnismäßig sehr viel länger, er kann beim jungen Kaninchen bis fast zur Cava inferior reichen. Beim Menschen ist aber die Reduktion so weit gediehen, daß der Sinusknoten etwa in der Mitte zwischen Vena cava superior und Vena cava inferior aufhört.

Ich verweise im übrigen noch auf die späterhin folgenden Ausführungen über die Beziehungen der spezifischen Muskelsysteme zu den Klappenapparaten des Herzens, in welchen ich darzulegen versucht habe, daß auch der Sinusknoten in seiner reduzierten Form, wie er meiner Beschreibung entspricht, durchaus mit der ihm zugehörigen Klappeneinrichtung korrespondiert.

Was die Blutversorgung des Sinusknotens anbetrifft, so habe ich schon erwähnt, daß man im Centrum seines Gewebes stets eine besonders kräftige Arterie findet. Diese Arterie setzt sich für gewöhnlich aus zwei anastomosierenden Ästen der rechten Coronararterie zusammen. Die Anordnung des Circulus arteriosus sinoauricularis ist folgende: Aus der rechten Arteria coronaria entspringt ein an der medialen Seite des Herzohres aufsteigender Ast, welcher einen kleineren Arterienzweig zum Herzohr-Cava-Winkel schickt, von wo derselbe in den Sulcus terminalis zum Herzohr und Sinusknoten zieht. Der Hauptstamm des medialen Astes umgreift die Vena cava superior von hinten her und kommt an der seitlichen Vorhofswand im Winkel zwischen ihr und linkem Vorhof zum Vorschein und tritt an der Stelle in den Sulcus ein, wo etwa der Stamm des Sinusknotens unten aufhört. Hier vereinigt er sich mit einem lateralen Ast der rechten Coronararterie, welcher vor der Vena cava

inferior an der seitlichen Vorhofswand in die Höhe steigt. Die vereinigten Äste durchsetzen den Sinusknoten als gemeinsamer Stamm, als die Sinusknotenarterie. Variationen kommen vor; so konnte ich selbst anastomotische Beteiligung der linken Arteria bronchialis (statt des hinteren medialen Astes) beobachten und, wie ich an den Gefäßpräparaten von *Spalteholz* (anlässlich des Internationalen Kongresses, London 1913) gesehen habe, kann auch der vordere (Herzohr-) Zweig des medialen Astes die Hauptarterie des Sinusknotens bilden. Da außerdem der mediale Ast meistens mit der linken Coronararterie kommuniziert, so sieht man, daß die Blutversorgung des Sinusknotens eine ausgezeichnete und vielfach gesicherte ist. Erwähnen möchte ich noch, daß der Ausbreitung der Sinusknotenarterie im Sulcus meist auch die Ausdehnung von Stamm und Kopfteil des Sinusknotens entspricht und daß unterhalb der Anastomose des medialen und lateralen Astes für gewöhnlich bald die unteren Ausläufer beginnen.

Enge Beziehungen besitzt der Sinusknoten zum Nervensystem, worauf *Keith* und *Flack* schon bei ihrem ersten Bericht hingewiesen und ich selbst immer wieder aufmerksam gemacht habe. Man findet nicht nur in seiner unmittelbaren Nachbarschaft zahlreiche stärkere Nervenbündel im subperikardialen Gewebe vorbeiziehen, sondern oft genug kann man beobachten, daß die Nervenbündel in das Maschenwerk des Knotens ein- und hindurchtreten. Es handelt sich da um anscheinend markhaltige Nervenfasern, die mit den einfachen Färbemethoden darzustellen sind. Noch auffallender ist der Reichtum an Ganglienzellen, die man in der Nähe des Sinusknotens in größeren und kleineren Gruppen und, wenn auch seltener, im Sinusknoten selbst antrifft, wie ich es vorher schon beschrieben habe. *Keith* und *J. Mackenzie* vergleichen diese Ganglienzellanhäufung dem *Remakschen* Ganglion des Kaltblüterherzens und geben ihr die Bezeichnung des sinoauriculären Ganglions. *Fahr* bestätigt ebenfalls das reichliche Vorkommen von Ganglienzellen, unter anderem gerade in der Nähe des Sinusknotens.

Eingehendere Untersuchungen über die nervösen Elemente des Sinusknotens verdanken wir *B. und A. Oppenheimer*, welche mit der supravitalen Färbung ein außerordentlich reichliches, fein verzweigtes, die Muskelfasern des Sinusknotens umspinnendes Nervennetz bei Huftieren, beim Schwein auch multipolare Ganglienzellen in geringer Anzahl nachweisen konnten. Am Menschen- und Hundeherzen waren allerdings die Resultate negativ, was bei ersteren auf die ungenügende Frische des Materials bezogen werden konnte. Hier gelang ihnen auch nur der Nachweis einzelner Ganglienzellen im Sinusknoten mit den gewöhnlichen Färbemethoden.

VI. Das Reizleitungssystem.

Seit den Untersuchungen von *Kent* und *His* aus dem Jahre 1893 wissen wir, daß Vorhöfe und Ventrikel des Säugetierherzens nicht, wie man bis dahin annahm, vollständig durch Bindegewebe voneinander getrennte Herzabschnitte sind — was für das Kaltblüterherz schon 10 Jahre vorher von

Gaskell angegeben war — sondern daß zwischen diesen Herzabschnitten eine, wenn auch verhältnismäßig schmale, muskuläre Verbindung in Gestalt des nach dem Entdecker benannten *Hisschen Bündel* besteht. Diese für den Physiologen so überaus wichtige Tatsache ist anscheinend vorerst nicht in genügender Weise gewürdigt worden. Erst 11 Jahre später (1904) folgen anatomische Nachprüfungen und eingehendere Beschreibungen über dieses Verbindungsbündel an Tier- und Menschenherzen, u. zw. fast gleichzeitig und unabhängig voneinander durch *Retzer* und *Braeuning*. 2 Jahre später (1906) erschien darauf die auf umfangreichste Untersuchungen gestützte anatomische Beschreibung von *Aschoff* und *Tawara*, welche die Angaben der Voruntersucher wesentlich erweiterten und nachwiesen, daß es sich nicht nur um ein kurzes Verbindungsbündel sondern um ein kompliziert gebautes, für die beiden Kammern in Schenkel geteiltes und in den Kammern baumförmig sich verästelndes System handelt. Außerdem gab *Tawara* noch eine Fülle neuer Einzelheiten über Struktur und Topographie dieses Systems bekannt, welches von *Aschoff* und ihm als Reizleitungssystem bezeichnet wurde. Es folgen die Arbeiten von *Keith* und *Flack*, von *Fahr*, die ausführliche Monographie von *Mönckeberg*, weiter die Arbeiten von *Lange*, *Curan*, *De Witt*, *Cohn*, *Gibson*, *Holl*, *Monrad-Krohn*, von *Külbs*, *Tandler*, *Ceelen* und anderen Untersuchern, welche sich mit dem ganzen System oder besonderen Fragen über dasselbe beschäftigten. Seitdem ist die Literatur auch über die Pathologie des Systems schnell angewachsen und es ist daher eine kurze Beschreibung über den wesentlichsten Verlauf desselben und über seine anatomischen Eigentümlichkeiten, zumal dasselbe in den normal anatomischen Lehrbüchern und Atlanten merkwürdig spät Aufnahme gefunden hat, notwendig.

Das Reizleitungssystem oder, wie es sonst noch genannt wird, *Atrioventrikulärbündel*, *atrioventrikuläres Verbindungssystem* oder *Verbindungsbündel*, setzt sich zusammen aus dem im rechten Vorhof gelegenen Vorhofs- bzw. Knotenabschnitt, dem Stamm (*Hissches Bündel*), dem rechten und linken Kammerschenkel und den beiderseitigen Endausbreitungen in den Kammern. Der Anfangsteil im rechten Vorhof liegt im sog. annulären (glatten) Abschnitt an der medialen (Septum-) Wand rechts neben der Aortenwurzel in einem dreieckigen Felde, welches nach unten von der Coronarvenenmündung, nach rechts von dem von mir als Ausläufer der Valvula Eustachii beschriebenen Sinusstreifen, nach links von dem Ansatz der Tricuspidalklappe begrenzt wird. Dort, wo Sinusstreifen und hinteres mediales Tricuspidalisegel an der Pars membranacea zusammenstoßen, trifft man bei Präparation auf den *Aschoff-Tawaraschen Knoten* bzw. seinen Übergang in den Stamm (s. Tafel X, Fig. 1).

Von diesem Winkel, den Sinusstreifen und Tricuspidalklappe miteinander bilden, ausgehend, läßt sich der Knotenabschnitt makroskopisch herauspräparieren. Er bildet ein walzenförmiges, ca. 2—4 mm breites, auf die Coronarvenenmündung zulaufendes Muskelbündel, welches je nach Größe des Herzens bis zu ca. 5 mm Länge mehr oder weniger künstlich isoliert werden

kann, das sich nach der Coronarvenenmündung zu abflacht und fächerförmig verbreitert und sich hier aus der Vorhofsmuskulatur nicht mehr scharf isolieren läßt (s. Tafel X, Fig. 2). Nach vorn setzt sich der Knoten in den Stamm fort, dessen Länge sehr wechselnd ist und an einem in meinem Besitz befindlichen präparierten Herzen bis zur Teilungsstelle in die Schenkel eine Ausdehnung von 8 mm hat. Meistens pflegt er jedoch kürzer zu sein; er kann sich auch aus voneinander isolierten Muskelzügen zusammensetzen und läßt sich bei makroskopischer Präparation nicht scharf von dem Knotenabschnitt abgrenzen. In direkter Fortsetzung des Stammes zieht sich, von ihm aus im konvexen Bogen nach vorn und unten verlaufend, der rechte Schenkel als rundlicher weißlicher Muskelstrang nach abwärts zu dem Fußpunkt des äußeren vorderen großen Papillarmuskels (Fig. 27). Sein Verlauf pflegt in der Regel zunächst intermuskulär zu sein, u. zw. bedecken ihn die medialen (septalen) Muskelschichten der Pulmonalis- (Bulbus) Ausflußbahn. Vor ihm liegt dabei das hintere mediale Tricuspidalissegel. Seine Lage kann aber auch eine mehr subendokardiale sein. Aber auch dann pflegt er in einer engen Muskellücke, wenn auch nicht von Muskulatur bedeckt, zu verlaufen. Die Konusmuskulatur, unter welcher er für gewöhnlich gelegen ist, entspricht nach *Aschoff* entwicklungsgeschichtlich dem inneren Bulbusschenkel. Sobald diese Muskelgruppe (innerer Schenkel der Crista supraventricularis) überholt worden ist, gewinnt der rechte Schenkel, meist unter dem Ansatz eines septalen Sehnenfadens oder sekundären medialen Papillarmuskels, seine subendokardiale Lage, um durch den *Tawaraschen* Hilfsschenkel (Moderatorband, *Leonardo da Vinci*-Muskelbalken) zum vorderen großen Papillarmuskel zu ziehen. Hier pflegt er sich in mehrere Äste aufzuteilen. Die Hauptrichtung dieser Verzweigungen geht in einem lateralen Aste nach der Parietalwand zu und rückläufig in einem schwächeren medialen Aste in der Richtung auf den rudimentären medialen Papillarmuskel. Die Endausbreitungen in Gestalt der sog. *Purkinjeschen* Fäden verlaufen dabei vornehmlich über die Kuppen der Trabekel dicht unter dem Endokard; teils überbrücken sie die intertrabeculären Lücken in Gestalt von rundlichen Fäden oder flacheren membranartigen Zügen. Sie sind an der Parietalwand bis ziemlich zur venösen Basis, deren hinter den Klappen gelegenen Abschnitt sie freilassen, zu verfolgen, ebenso nach unten in die Ventrikelspitze und am Septum bis in die Umgebung des medialen Papillarmuskels.

Ein anderes Verhalten zeigt der linke Schenkel. Gleich nach der Teilung wendet er sich abwärts in den linken Ventrikel, so daß seine Abgangsstelle weiter rückwärts gelegen ist als der im Bogen nach vorn laufende Hauptstamm des rechten Schenkels. Unterhalb des Spatium intervalvulare zwischen rechter und hinterer Aortenklappe tritt der linke Schenkel an der oberen Kante der Ventrikelscheidewand in die linke Kammer ein, u. zw. sofort in subendokardialer Lage. Er bildet nicht wie der rechte Schenkel zunächst einen rundlichen Strang, sondern breitet sich sogleich fächerförmig aus, so daß seine zunächst noch dichter zusammenliegenden Fasern eine verhältnismäßig

dünne zerteilte Muskelplatte bilden. Er beherrscht weiter nach unten vorerst ausschließlich den glatten septalen Wandabschnitt der Kammerscheidewand, welcher als Aortenausflußbahn näher bezeichnet ist (s. Tafel XI). Nach kurzem, mehr zusammenliegenden Verlaufe (in einem Testpräparat nach ca. 1 cm) teilen sich die Muskelgruppen des linken Schenkels in zwei größere Untergruppen, von denen die vordere schräg nach vorn zum Wurzelgebiet des vorderen Papillarmuskels, die hintere Gruppe schräg nach hinten, aber in steilerem Verlaufe, zum Wurzelgebiet des hinteren Papillarmuskels zieht. Diese hintere Gruppe durchquert fast den ganzen glatten Abschnitt der Aortenausflußbahn. Beide Hauptverzweigungen, die sich aus mehr oder weniger parallel zueinander angeordneten einzelnen Muskelgruppen zusammensetzen, treten, sobald mit dem Aufhören des glatten Ausströmungsabschnittes das Trabekelwerk in Erscheinung tritt, in die hauptsächlichsten Balken der Trabecularis ein, längs welcher sie in subendokardialer Lage zu den Papillarmuskeln abwärts streben. Man sieht daher vielfach einzelne stärkere Trabekel sowohl vom vorderen, hauptsächlich jedoch vom hinteren Papillarmuskel nach oben konvergierend gegen die Eintrittsstelle des linken Schenkels zu verlaufen, ja zuweilen erheben sich diese Leitbahnen des linken Schenkels als die einzigsten, etwas hervorspringenden Trabekel in dem sonst glatten Wandabschnitt der Ausströmungsbahn. Die Variationen, welche dabei vorkommen können, sind so mannigfaltig, daß sie hier im einzelnen nicht besprochen werden sollen. Es muß nur erwähnt werden, daß sowohl im rechten wie aber besonders im linken Ventrikel der linke Schenkel nicht stets den weiten Weg längs der Septumwand abwärts und im Bogen wieder aufwärts zu den Papillarmuskeln innehält, sondern daß er sich häufig mit einzelnen Gruppen seiner Hauptverzweigungen von der Scheidewand löst, um mittels strangförmiger Gebilde, welche unter dem Namen falsche Sehnenfäden bekannt sind, auf dem kürzesten Wege zu den Papillarmuskeln zu ziehen, ein Verhalten, welches bei Huftieren so gut wie regelmäßig beobachtet wird (s. Tafel XII). Auch in der Ausbildung und Anordnung dieser falschen Sehnenfäden kommen die vielseitigsten Variationen vor. Man findet falsche Sehnenfäden vom Hauptteil des linken Schenkels in Ein- oder Mehrzahl zum vorderen oder hinteren Papillarmuskel ziehend, Fäden, die sich Y-förmig teilen und dann erst zu den Papillarmuskeln begeben, Fäden, die quer durch das Lumen ziehend beide Papillarmuskel miteinander verbinden u. s. w. Am häufigsten jedoch sind wohl die zum hinteren linken Papillarmuskel ziehenden falschen Sehnenfäden. Wie *Mönckeberg* nachgewiesen hat, darf man jedoch nicht in allen derartigen Gebilden des Herzens Reizleitungsfasern erwarten und er unterscheidet bei den falschen Sehnenfäden solche, welche überhaupt keine Muskulatur, andere, welche gewöhnliche Kammerfasern enthalten, ferner Fäden mit nur Reizleitungsfasern und Fäden mit Reizleitungs- und gewöhnlichen Kammerfasern. Für den einigermaßen mit dem Bau der spezifischen Muskelsysteme vertrauten Untersucher wird es jedoch nicht schwer sein, schon makroskopisch mit ziemlicher Sicherheit zu entscheiden, ob die vorliegenden falschen Sehnenfäden als zum Reizleitungssystem

zugehörig zu betrachten sind oder nicht. Es ergibt sich das daraus, ob sie sich in den Verlauf des linken Schenkels einfügen lassen oder nicht.

Von den Fußpunkten der Papillarmuskeln aus splittern sich die Hauptteile des linken Schenkels wiederum in zahlreiche feinere Äste auf, welche, wie schon am rechten Ventrikel beschrieben, über die Kuppen der Trabekeln verlaufend, ein feineres Netz- und Maschenwerk unter dem Endokard des linken Ventrikels bilden und fast den ganzen trabecularen Abschnitt versorgen. Sie ziehen als feine graue Fäden oder schmale Häutchen untereinander kommunizierend von Trabekel zu Trabekel bis in die Herzspitze und rückläufig an der Parietalwand nach oben, wobei der glatte Abschnitt der Ausflußbahn neben dem Anfangsteil des linken Schenkels und die hinter der Klappenzone gelegenen Abschnitte der Einflußbahn freibleiben sollen.

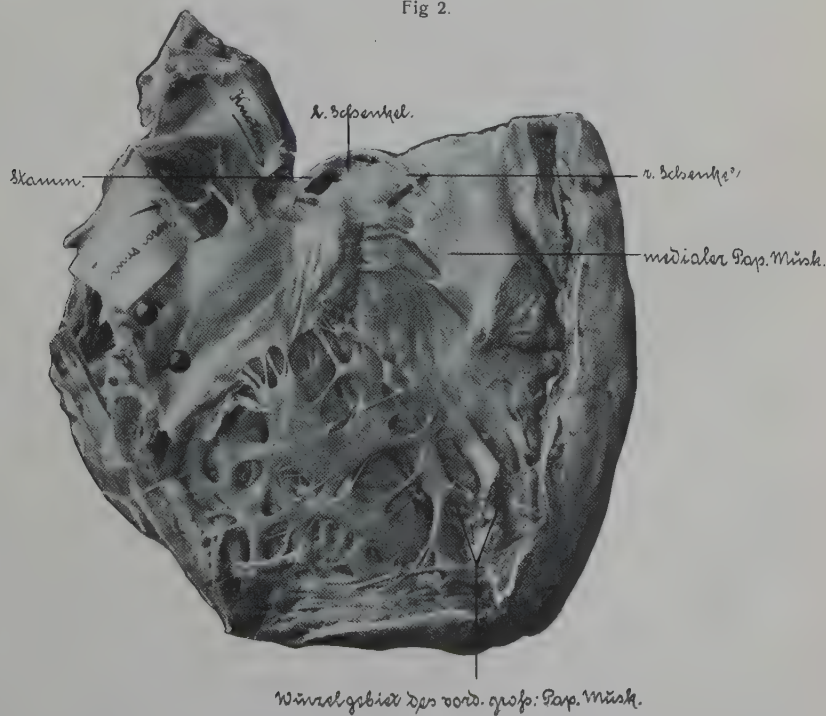
Was nun den feineren Bau des Reizleitungssystems betrifft, so sollen hier nur einige wesentliche Befunde wiedergegeben werden. Der *Aschoff-Tawarasche* Knoten, welcher den Anfangsteil der Verbindungsbündel bildet, setzt sich aus 2 Abschnitten zusammen, aus dem eigentlichen Vorhofsabschnitt oder Vorhofsknoten und dem Kammerabschnitt oder Kammerknoten. Der Vorhofsknoten wiederum wird aus einem kleineren kompakten netzförmigen und einem größeren, mehr parallelfaserig gewellt verlaufenden Muskelkomplex gebildet. Es sei hervorgehoben, daß diese Trennung des *Aschoff-Tawaraschen* Knotens am menschlichen Herzen anatomisch nicht präzise durchgeführt werden kann, daß sie aber am Huftierherzen, wie *Aschoff* es abgebildet hat, durch die Glykogenfärbung sehr deutlich nachzuweisen ist und daß die Zweiteilung durch physiologisches Experiment von *Ganther* und *Zahn* ihre Bestätigung gefunden hat. Die Abschnitte des Kammerknotens und benachbarten Anteile des Vorhofsknotens bauen sich auf aus sehr zierlichen, vielfach untereinander verflochtenen, schmalen Muskelfäserchen, welche eine unregelmäßige fibrilläre Struktur aufweisen. Die Muskelfasern sind bedeutend schmaler als die gewöhnliche Vorhofsmuskulatur; sie erscheinen sarkoplasma-reicher und fibrillenärmer. Die Fibrillen sind unregelmäßig in der Faser verteilt und lassen öfters einen centralen Hof frei. Die Kerne erscheinen reichlicher vorhanden als bei der gewöhnlichen Herzvorhofsmuskulatur und geben dadurch dem histologischen Bilde des Knotens ein punktiertes Aussehen, während die Muskelfasern an und für sich eher blasser erscheinen als die Vorhofsmuskulatur. Die Kerne sind sehr vielgestaltig, kleiner als die der Vorhofsmuskulatur, aber groß im Verhältnis zu ihren zierlichen Muskelfasern und sie färben sich relativ dunkel.

Die Muskelfasern sind beim Menschenherzen engmaschig angeordnet mit vorwiegend längsgestellten Maschen in der Verlaufsrichtung des Bündels. Sie gehen vielfach ineinander über und kreuzen sich in Knotenpunkten. Nach hinten zu treten sie aus dem netzförmigen Vorhofsabschnitt in mehr parallel angeordnete wellig verlaufende Muskelfasern ähnlicher Struktur über (Ausläufer des Vorhofsknotens), welche sich fächerartig ausbreiten und mit der Vorhofsmuskulatur in Verbindung treten. Diese Fasern strahlen in der Rich-

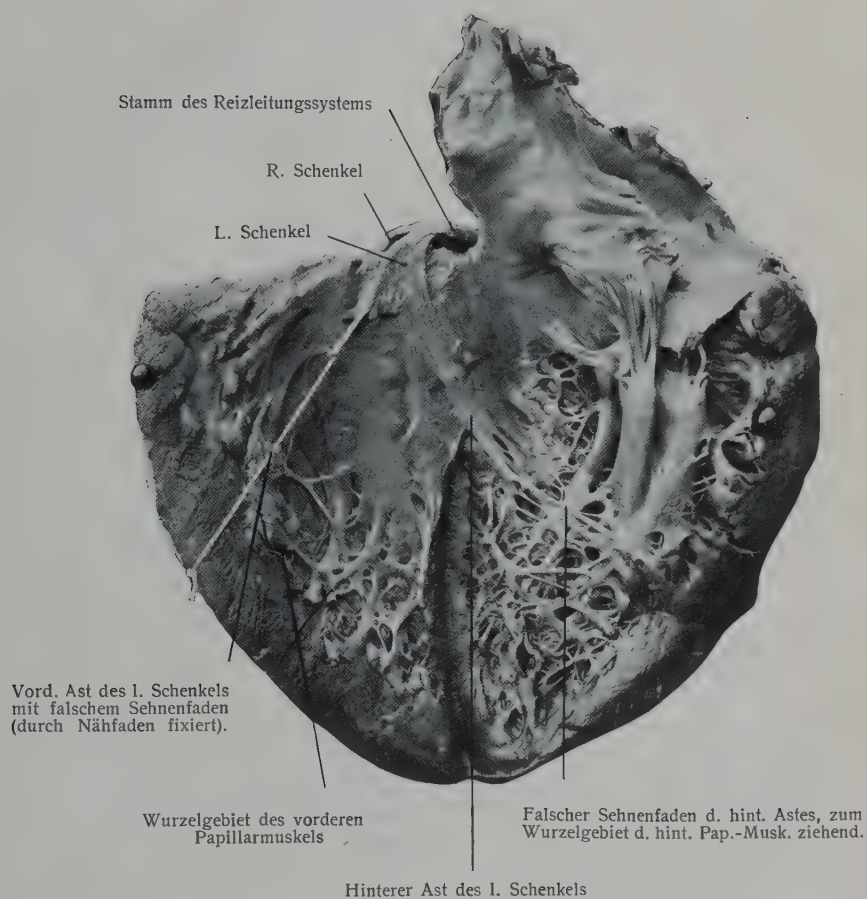
This anatomical illustration shows a heart specimen, likely a fish heart, with several German labels and leader lines pointing to specific features:

- sinus streifen**: Points to a longitudinal structure on the left side of the heart.
- Ösophagus der Triacanthopterus**: Points to a structure at the top right of the specimen.
- Valv. Crist.**: Points to a valve-like structure at the bottom left.
- Favosa'scher Knospen (schematische)**: Points to a series of small, rounded, stacked structures in the center.
- sinus coronarius mit Valvula Thebesii**: Points to a large, circular structure on the right side.

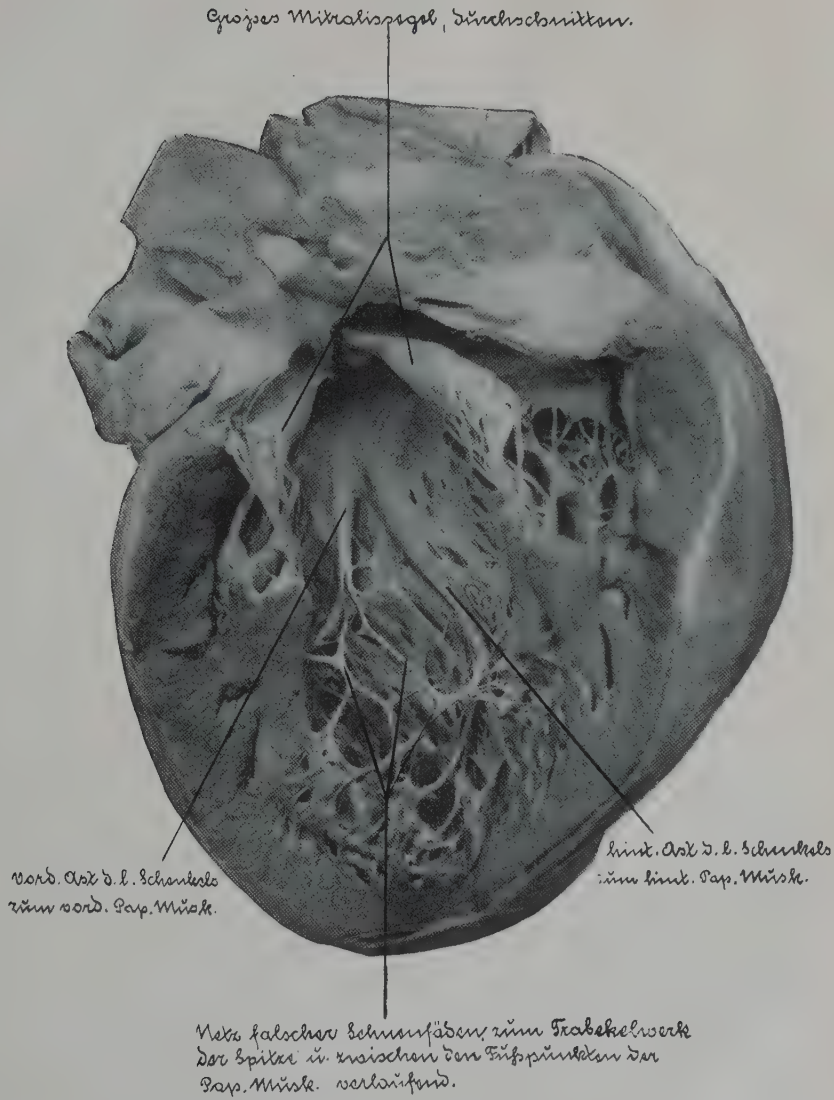
Fig 2.



Menschliches Herz, eröffnet, von der rechten Seite gesehen. Die Vorhöfe bis auf einen Rest des rechten Vorhofes und der Grenzabschnitt der linken Kammer sind entfernt. Herauspräpariert ist der Anfangsteil des Reizleitungssystems mit *Aschoff-Tawarascum* Knoten, der Stamm und die Teilungsstelle desselben in rechten und linken Schenkel, deren Anfangsabschnitte zu sehen sind.



Dasselbe Herz wie Tafel X, Fig. 2 von der linken Seite gesehen. Stamm, Anfangsteil des rechten und linken Schenkels des Reizleitungssystems. Der hintere Ast des linken Schenkels läuft in der Nähe des hinteren Papillarmuskels zum Teil in einen falschen Sehnenfaden aus. Von dem vorderen Ast des linken Schenkels löst sich schon sehr hoch am Septum ein falscher Sehnenfaden.



Menschliches Herz, eröffnet, von der linken Seite gesehen. Der vordere und hintere Ast des linken Schenkels des Reizleitungssystems ziehen auf besonders starken Muskelwülsten zu der vorderen und hinteren Papillarmuskelgruppe und ein besonders ausgeprägtes Netzwerk falscher Sehnenfäden vermittelt die Verbindung der Ausläufer des linken Schenkels zu und zwischen den Papillarmuskelgruppen.

tung auf den Coronarvenentrichter, nach oben zur Fassa ovalis und nach rechts unten zu der in die Tricuspidalis einstrahlenden schmalbündigen Vorhofsmuskulatur aus; einige Fasern wenden sich auch dem linken Vorhof bzw. der Scheidewand und der in die Mitralis ausstrahlenden Vorhofsmuskulatur zu. Diese Ausläufer, welche in die Vorhofsmuskulatur in der Weise übergehen, daß mehrere kleine Faserbündel sich zu einer gewöhnlichen Vorhofsfaser vereinigen, zeigen, abgesehen von ihrer Schmalheit, beim Menschen meist nicht mehr die typische Knotenfaserstruktur.

Wie im Knoten selbst in den Muskelfasermaschen das Bindegewebe schon verhältnismäßig reichlich ist, findet man in den Ausläufern des Vorhofsknotens besonders starke Bindegewebsentwicklung zwischen den mehr oder weniger parallel verlaufenden Muskelfasern. Das ist beim Hund und besonders bei der Katze noch viel deutlicher. Die Trennung von Vorhofs- und Kammerknoten in dem retikulären Abschnitt ist am Kalbsherzen, wie schon erwähnt, bei Färbung auf Glykogen deutlich zu erkennen. Während die maschenförmig verzweigten Kammerknotenfasern sich bei Anwendung der *Bestschen* Färbemethode leuchtend rot färben, bleiben die ebenfalls noch netzförmig angeordneten Fasern des Vorhofsknotens und seiner Ausläufer ungefärbt oder zeigen sich nur blaßrosa. Die Grenze zwischen beiden Abschnitten ist merkwürdigerweise eine ziemlich scharfe, obwohl die Fasern kontinuierlich ineinander übergehen, wie *Aschoff* und ich an Herzen verschiedener Tiere beobachten konnten. Es ist nicht unwahrscheinlich, daß an dieser Stelle, die ja noch im Bereiche des rechten Vorhofes liegt, trotzdem für das Verbindungssystem die eigentliche Grenze zwischen Vorhofs- und Kammerabschnitt zu suchen ist, d. h., daß der Kammerknoten trotz seiner Lage im rechten Vorhof entwicklungsgeschichtlich dem Kammerabschnitt des Herzschlauches bzw. der Übergangsmuskulatur zugerechnet werden muß. Die anatomische (und funktionelle) Zweiteilung des Knotenabschnittes ist jedenfalls, trotz der Einwände *Mönckebergs*, am Glykogenpräparat bewiesen.

Als Fortsetzung des Kammerknotens schiebt sich das eigentliche *Hissche* Bündel von hinten her nach vorn durch den Annulus fibrosus bzw. durch den unteren Rand der Pars membranacea septi auf der Ventrikelscheidewandkuppe vor. Es ist das der Abschnitt, welcher als Stamm des Reizleitungssystems bezeichnet wird. Seine immer noch retikulär angeordneten schmalen Muskelfasern nehmen aber allmählich beim Weiterverlauf, je mehr sie sich der Teilungsstelle nähern, eine mehr parallele Richtung an, wobei noch zahlreiche Brücken von einer Faser zur andern bestehen bleiben. Wie *Aschoff* schon bemerkt hat, unterscheidet er sich histologisch wenig vom eigentlichen Kammerknoten, so daß man ihn gerade so gut zu demselben hinzurechnen könnte, ja, man könnte das ganze Kammersystem, welches ja nur durch besondere, später zu erörternde Bedingungen den eigenartigen Bau erhalten hat, in Parallele zu dem Sinusknoten und Vorhofsknoten als Kammerknoten bezeichnen, was für Kliniker und Physiologen vielleicht eine praktische Vereinfachung bedeuten würde. Mit Rücksicht auf die bisher gebräuchliche Ein-

teilung ist es jedoch vorzuziehen, mit dem Ausdruck Kammerknoten anatomisch nur die vorerwähnte netzförmig gebaute Anschwellung des Systems am Beginn des Kammerabschnittes zu bezeichnen und auch den Stammabschnitt weiterhin abzutrennen. Daß der Stamm aus einzelnen septierten Muskelgruppen bestehen kann, wurde schon erwähnt. In der Nähe der Teilungsstelle, welche gewöhnlich dort liegt, wo der Stamm die Ventrikelscheidewand erreicht, zeigt er in der Regel bei etwas größerem Querschnitt von annähernd dreieckiger Gestalt eine gewisse Auflockerung der Muskelbündelchen und reichlicheres lockeres Bindegewebe. Die Teilungsstelle kann sich aber auch mehr auf die linke Seite verschieben, wobei dann gewöhnlich der Stamm kurz ist und schnell durch den Annulus fibrosus hindurchtritt, oder wir finden die Teilungsstelle nach längerem Verlauf des Stammes rechts neben der Kuppe der Ventrikelscheidewand, über welche alsdann der linke Schenkel bogenförmig hinwegzieht.

Während nun der rechte Schenkel als relativ starkfaseriger Muskelzug nach ganz kurzem Verlauf in der Nähe des Endokards sich bald in die Scheidewandmuskulatur hineinzieht, gewinnt der linke Schenkel gleich eine subendokardiale Lage. Die Muskelfasern des rechten Schenkels gleichen denen des Stammes, nur werden sie etwas kräftiger und nähern sich in ihrem Querschnitt den gewöhnlichen Myokardfasern. Daher ist der rechte Schenkel auf seinem Verlauf in der Scheidewand auch oft recht schwer zu verfolgen. Er ist zwar immer bindegewebig abgescheidet, woran man ihn auf Serienschnitten am besten erkennen kann; doch ist diese Scheide oftmals außerordentlich zart. Seinen Weg nimmt der rechte Schenkel dabei durch eine intermuskuläre Lücke, die sich vor und hinter ihm schließt. Während dieses intermuskulären Verlaufes, über dessen Entstehen später noch gesprochen werden soll, nimmt der Querschnitt des rechten Schenkels eher ab als zu. Der rundliche, ziemlich kompakte Stamm gibt währenddessen keine Seitenäste ab, er tritt auch niemals mit der umgebenden Muskulatur in Verbindung. Die Muskellage, welche ihn vom Endokard trennt, pflegt nicht sehr dick zu sein. In der Nähe des septalen Ansatzpunktes eines Sehnenfadens, welcher dem rudimentären medialen Papillarmuskel benachbart ist, gewinnt der rechte Schenkel für gewöhnlich seine endgültige subendokardiale Lage. Dabei verbreitert sich sein Querschnitt und es treten in ihm sarkoplasmareiche breite Röhrenfasern auf, welche mit den *Purkinjeschen* Fasern des Huftierherzens zu identifizieren sind. Diese spezifischen Muskelfasern, welche sehr viel breiter als die gewöhnlichen Myokardfasern und fibrillenärmer sind und in denen durch Wandständigkeit der Fibrillen ein centraler Sarkoplasmahof freibleibt, welcher der Faser ein röhrenförmiges Aussehen verleiht, pflegen auch linkerseits vornehmlich nur dann beobachtet zu werden, wenn das System subendokardial gelegen ist, während, wenigstens beim Menschenherzen, Knoten, Stamm und erster Abschnitt des rechten Schenkels, welche nicht subendokardial verlaufen, wie beschrieben, mehr schmalfaserig zu sein pflegen. Das saftreiche Aussehen der *Purkinjeschen* Fasern ist zum Teil sicherlich auf reichlichen Glykogengehalt derselben zurückzuführen, welcher beim Huftier durch die *Bestsches* Färbung

eine elektive Darstellung des Bündelverlaufs ermöglicht. Beim Menschenherzen ist die Reaktion allerdings bei weitem nicht so ausgesprochen. Es sei betont, daß aber nicht durchaus alle Fasern der Schenkelausbreitungen vom Typus der Röhrenfasern zu sein brauchen, ja, daß dieselben sehr zurücktreten können, so daß das System nur an seinen Einscheidungen zu erkennen ist. Vielleicht spielt dabei, abgesehen von den individuellen Schwankungen, bisweilen auch die Art der Fixierung und Härtung des Materials eine Rolle. Der Übergang der spezifischen Muskelfasern in die Endausbreitungen erfolgt allmählich, indem die Muskelfasern mit ihren Fibrillen zusammenrücken, dabei den mehr oder weniger deutlichen Hof verlieren, sich dunkler färben und nach und nach Querstreifung erkennen lassen. Auch die feineren Verzweigungen lassen noch feine bindegewebige Hüllen erkennen. Während der Übergang von einer Faserart in die andere im allgemeinen subendokardial erfolgt, lassen sich zuweilen auch mehr in der Tiefe der Muskulatur Übergangsbilder antreffen, so besonders an den Fußpunkten der Papillarmuskeln. Wegen besonderer histologischer Einzelheiten sei noch auf die Monographien von *Tawara* und *Mönckeberg* verwiesen.

Der linke Schenkel des Reizleitungssystems wird bei seinem Abgange vom Stamm aus relativ dünnen, dem vorhergehenden Abschnitt noch ähnlichen Fasern gebildet. Da er sehr bald in der Ausflußbahn der Ventrikelseidewand das Endokard erreicht, verbreitern sich seine Fasern jedoch sehr schnell zu dem Typus der Röhrenfasern bzw. *Purkinjeschen* Muskelfasern. Der linke Schenkel hat nicht die strangförmige Gestalt, die der rechte Schenkel auf eine so große Strecke hin besitzt, sondern er breitet sich gleich nach Eintritt in den linken Ventrikel sofort in der Art gespreizter Finger aus und bildet daher mehr eine durch nach unten breiter werdende Lücken unterbrochene Muskellage, die am Übergang vom Stamm zum linken Schenkel sehr dünn sein kann. Man trifft ihn daher auf Schnitten, welche das Septum der Länge nach von rechts nach links zerteilen, nur an bestimmten Stellen, d. h. dort, wo die Züge steiler nach abwärts ziehen, längs getroffen, während man in den hinteren, besonders aber den vorderen Abschnitten Schrägschnitte erhält und naturgemäß an den Lücken zwischen seinen einzelnen fingerförmigen Ausbreitungen ihn überhaupt nicht oder nur weiter oben in der Nähe seiner Abgangsstelle, wo die Äste noch dichter zusammenliegen, antreffen wird. Alle seine Äste sind deutlich bindegewebig abgescheidet. Das Bindegewebe zwischen den verschiedenen Ästen und auch das Endokard über ihnen sind schon normalerweise, vor allem in den obersten Septumabschnitten, sehr stark entwickelt, so daß man sich mit der Beurteilung über Schwielenbildung in diesem Bezirk sehr vorsichtig äußern muß. Wegen seiner leicht zugänglichen Lage, die sich öfters am unpräparierten Herzen erkennen läßt, ist der linke Schenkel auch histologisch sehr viel leichter aufzufinden als der rechte. Auch pflegen in seinen Verzweigungen die *Purkinjeschen* Fasern nach meiner Erfahrung konstanter und in größerer Zahl aufzutreten als am rechten Schenkel. Trotzdem gilt auch für ihn dasselbe wie für den rechten Schenkel, daß

nämlich das Vorhandensein von Röhrenfasern außerordentlich schwankend sein kann und daß es Herzen gibt, wo dieselben sehr zurücktreten, und wieder andere, in denen der gesamte linke Schenkel mit wohlausgebildeten Röhrenfasern auf das lebhafteste im histologischen Bilde gegen die gewöhnliche Herzmuskulatur kontrastiert. Daß 2 Hauptäste zu den beiden Papillarmuskelgruppen in Form von mehr zusammenliegenden größeren Einzelgruppen an der Scheidewand schräg nach vorn und steiler nach hinten und abwärts ziehen, ist schon bei der makroskopischen Beschreibung erwähnt; dazwischen ziehen feinere, mehr isolierte Fäden in das Trabekelwerk der Spitze und ebenfalls kleinere Äste können, nachdem sie mit den Hauptästen bis in die Nähe der Papillarmuskelwurzel gelangt sind, sich rückläufig zu dem Trabekelwerk oberhalb der Papillarmuskelwurzel begeben. Zu dem glatten Wandabschnitt der Aortenausflußbahn gibt der dort verlaufende Hauptstamm des linken Schenkels bzw. seiner Hauptäste keine direkten Zweige ab, sondern es bleibt das Prinzip gewahrt, daß erst dann Zweige von den Hauptästen sich abteilen, wenn die Höhe der Papillarmuskelwurzeln erreicht ist.

Auf die Zugehörigkeit der falschen Sehnenfäden zu den Ausbreitungen des Reizleitungssystems ist schon vorher aufmerksam gemacht worden. Der Beweis dafür ist histologisch unter den von *Mönckeberg* gegebenen Einschränkungen leicht zu erbringen, indem man die Reizleitungsfasern in die vom Septum sich loslösenden Sehnenfäden als direkte Fortsetzung der subendokardialen Schenkelfasern weit in dieselben hinein und in den günstigen Fällen bis zu den Papillarmuskeln verfolgen kann.

Die Blutversorgung des Reizleitungssystems besitzt beim menschlichen Herzen eine gewisse Selbständigkeit, wie es von *Haas* beschrieben worden ist. Gegenüber dem Tierherzen bestehen dabei wesentliche Unterschiede. Während beim Hunde die Gefäßversorgung des Atrioventrikularsystems aus der linken Coronararterie erfolgt, beim Kalb beide Coronararterien annähernd gleichmäßig beteiligt sind, kommt beim Menschenherzen vorwiegend die rechte Coronararterie in Betracht. Die Versorgung geschieht durch 2 Septumäste dieser Arterien, u. zw. durch die Arteria septi fibrosi, welche vornehmlich zum Atrioventrikularknoten zieht, aber auch noch in den Stamm und die obersten Schenkelabschnitte verfolgt werden kann, und zweitens durch den Ramus septi ventricularis sup., welcher die hinteren Hauptabschnitte des linken Schenkels versorgt, während die vorderen Abschnitte von der linken Coronararterie ihr Blut erhalten. Der rechte Schenkel liegt im Weiterverlauf im Verzweigungsgebiet beider Coronararterien; über etwaige Anastomosen der Arterien des Reizleitungssystems mit der linken Coronararterie sind die Untersuchungen noch nicht abgeschlossen. Es scheinen aber solche zu bestehen, u. zw. vermittelt eines Astes der Arteria septi fibrosi, welcher vor dem Eintritt dieser Arterie in den Atrioventrikularknoten nach hinten abbiegt.

Die Beziehungen des Nervensystems zum Atrioventrikulärbündel sind besonders ausgesprochen. Schon *Tawara* beschreibt, daß kräftige Nervenfäden beim Kalbsherzen in großer Zahl in den Vorhofsteil des Reizleitungs-

systems eintreten, durch den Knoten und Stamm hindurchziehen und mit den Schenkeln sich teilend durch den Hilfsschenkel bzw. die falschen Sehnenfäden sich zu den Papillarmuskeln begeben, und er erwähnt auch Gruppen von Ganglienzellen besonders am linken Schenkel. *Wilson, de Witt, Mönckeberg* und vor allen *I. Engel* haben mit der supravitalen Färbung unsere Kenntnis über den Befund nervösen Gewebes im Reizleitungssystem wesentlich gefördert. Während man beim Kalbsherzen mit den gewöhnlichen Färbemethoden den Reichtum des Systems an begleitenden Nervenfasern nachweisen kann, vermißt man dieselben bei anderen Tieren und bei Menschen oder sieht doch höchstens in den Ausläufern des Vorhofsknotens Nerven und Ganglienzellen liegen, wie ich beim Kaninchen, bei Hund und Katze erwähnt habe. Bei spezifischen färberischen Untersuchungsmethoden, besonders bei der supravitalen Färbung, zeigt sich aber nicht nur ein außerordentlich reichhaltiges, feinverzweigtes Netz markloser Nervenfasern, sondern auch markhaltige Nerven und Nervenzellen sind dabei nachgewiesen. Der positive Befund ist allerdings auch hier bei den Tieren, vor allem den Huftieren, ein viel stärkerer als beim Menschenherzen. So sind beim Kalb große Gruppen von Ganglienzellen, meist unipolare, aber auch bi- und multipolare im rechten Schenkel bis in das Moderatorband und im linken Schenkel sowie in den von ihm ausgehenden falschen Sehnenfäden beschrieben. Die marklosen Nervenfasern, welche zusammen mit an Zahl geringeren markhaltigen Nervenfasern das System auf seinem Verlauf begleiten und umspinnen, sollen angeblich an den *Purkinjeschen* Fasern enden, was insofern von Bedeutung ist, als Nervenendigungen an der Triebmuskulatur noch nicht beschrieben sind. Beim Menschenherzen ist es noch nicht gelungen, Ganglienzellen und markhaltige Nervenfasern im Verlaufe des Systems nachzuweisen. Dagegen gibt *I. Engel* an, daß sie marklose Nervenfasern am linken Schenkel des Reizleitungssystems, in ähnlicher Anordnung wie beim Kalbsherzen, mit seinen die Muskelfasern umspinnenden Netzen und varikösen Verdickungen beobachten konnte.

Darauf, daß der Nervus vagus und accelerans in besonderer Form an den spezifischen Muskelcentren angreifen, u. zw. die rechtsseitig verlaufenden Nerven vorwiegend am Sinusknoten, die linksseitigen Nerven mehr am *Aschoff-Tawaraschen* Knoten und seinen Ausbreitungen, ist schon vorher hingewiesen worden. Der anatomische Nachweis ist allerdings erst in spärlicher Form geführt worden und wir stützen uns bei dieser interessanten Tatsache zunächst auf die physiologischen Experimente von *Einthoven* und *Wiringa*, *Rothberger* und *Winterberg*, *Ganter* und *Zahn* und *A. E. Cohn*. Die Scheidung ist keine absolute, sondern die Experimente ergeben, daß Abweichungen in den Beziehungen der Nerven zu den spezifischen Muskeln bestehen, die auf Faservermischungen der links- und rechtsseitigen Nervenbahnen zurückgeführt werden müssen.

Schließlich seien noch *Currans* Angaben über die das Reizleitungssystem umgebende Lymphscheide erwähnt. Ausgehend von dem Gedanken, daß das System ein leitendes und kein für Contraction bestimmtes sei, beschreibt er

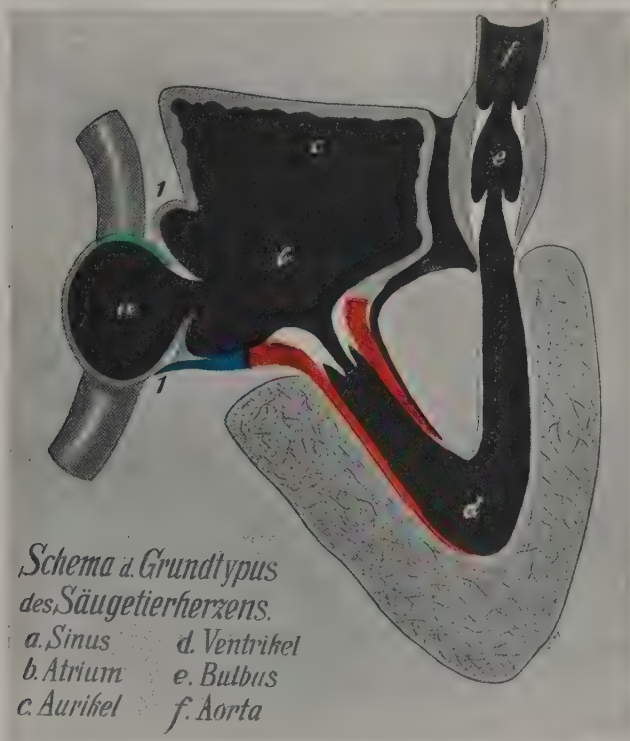
einen die Schenkel und hauptsächlichsten Verzweigungen des Reizleitungssystems umgebenden Lymphraum, der auch als Bursa bezeichnet wird und welcher die Reibung und Abnutzung des Atrioventrikulärbündels bei der Ventrikeltätigkeit vermindern bzw. verhindern soll. Die Wandungen der Bursa werden von dem Bindegewebe, welches das System abscheidet und an der Rückseite von dem der Wand des Muskelkanals, in welchem die Bündel verlaufen, gebildet. Die Bursa ist von zierlichen Trabekeln durchsetzt, mit klebriger Lymphflüssigkeit angefüllt und soll streckenweise zu größeren Hohlräumen künstlich aufgeblasen werden können. Injektionsversuche mit Tusche, wie sie von *Cohn* und *Lhamon* ausgeführt worden sind, ergeben in der Tat Bilder, die mit den Ausbreitungen des Reizleitungssystems einigermaßen korrespondieren, doch ist eine Entscheidung darüber, wie weit es sich um subendokardiale Lymphspalten für das ganze Herz handelt oder ob sich diese Lymphbahnen nur längs der Verzweigungen des Reizleitungssystems finden, noch nicht durch histologische Kontrolle sichergestellt.

VII. Beziehungen der spezifischen Muskelsysteme zum Bau des Herzens.

Nachdem im vorhergehenden der Stand unserer Kenntnisse über die Anatomie der spezifischen Muskelsysteme referiert worden ist, verdient die Frage über die Beziehungen dieser eigenartigen Muskelsysteme zum Herzen eine eingehende Erörterung. Es ist von *Keith* und seinen Mitarbeitern schon frühzeitig darauf hingewiesen worden, daß wir die spezifischen Muskelsysteme an den Grenzabschnitten der einzelnen Herzabteilungen zu suchen haben. In seinem Schema vom Grundtypus des Säugetierherzens habe ich schematisch die Lage der spezifischen Muskelsysteme eingezeichnet (Fig. 28). Wir sehen dabei, worauf ich mit besonderem Nachdruck hinweisen möchte, daß die Beziehungen der Systeme zum Klappenapparat des Herzens ganz ausgesprochene sind. In Frage kommen aus Gründen, die weiter unten erörtert werden sollen, die Grenze zwischen Sinus und Vorhof und zwischen Vorhof und Kammern; an der ersten Grenze liegt der Sinusknoten, an der zweiten Grenze der *Aschoff-Tawarasche* Knoten und das Reizleitungssystem. Wir wissen, daß bei niederen Tieren die spezifischen Muskelsysteme sich als vollständige oder teilweise unterbrochene und dafür zu einzelnen Zügen verstärkte Ringe an der Klappenbasis dieser Herzabschnitte nachweisen lassen. Die Beziehungen der spezifischen Muskelsysteme im menschlichen Herzen zum Klappenapparat des Herzens sind nun prinzipiell dieselben geblieben, nur finden wir eine Reduktion und einen gewissen Umbau derselben. Man kann dabei das Prinzip gewahrt sehen, daß die spezifischen Muskelsysteme nur zu dem muskulären Anteil von Klappeneinrichtungen Beziehung haben und Beziehung behalten, während sie für die mechanisierten Klappenabschnitte nicht mehr in Frage kommen und sich daher überall an den Stellen zurückbilden, wo ursprünglich muskuläre Klappeneinrichtungen durch teilweise oder völlig mechanisierte Klappenapparate ersetzt sind.

Was zunächst die Reduktion anbetrifft, so ist diese einmal dadurch zu erklären, daß die bei niederen Tieren mehr im Zusammenhang mit Sphinctermuskulatur wirkenden Sinusvorhofs- und Vorhofskammerklappen beim Menschenherzen durch anders gearteten, teilweise mechanisierten Klappenapparat ersetzt werden und die Klappen als solche zum Teil verschwinden. Beim menschlichen Herzen ist die linke Sinusklappe überhaupt nur rudimentär angelegt und entwickelt sich sehr schnell ganz zurück. Von der rechten Sinus-

Fig. 28.



Schema des Grundtypus des Säugetierherzens (nach *Keith*). Farbig eingezeichnet die Lage der spezifischen Muskelsysteme, wie sie im menschlichen Herzen erhalten bleiben. Sinusknoten: grün; Vorhofsknoten: blau; Kammerknoten und Schenkel: rot (vgl. Tafel XII).

klappe bleibt nur der untere Abschnitt als *Valvula Eustachii* und *Valvula Thebesii* erhalten, u. zw. als rein mechanisch wirkende Klappe unter Berücksichtigung der aufrechten Körperhaltung des Menschen. Infolgedessen sind, soweit ich unterrichtet bin, diese beiden Klappen an Säugetierherzen nicht oder doch nur andeutungsweise ausgebildet, beim Affen, nebenbei bemerkt, noch am deutlichsten. Der obere Abschnitt der rechten Sinusklappe ist ebenfalls beim Menschen zurückgebildet. Wir finden aber gerade in dem ihm entsprechenden Abschnitt den Sinusknoten liegen. Es ist nun interessant, daß wir uns den Abschluß des Vorhofes gegen die einmündenden großen Venen hauptsächlich durch die Wirkung der kräftigen Muskelleiste am Dach des

Vorhofs zu denken haben, welche als *Crista terminalis* vorher beschrieben wurde, und gerade längs dieser *Crista* zieht sich der Sinusknoten entlang etwa bis zu der Stelle, wo die *Crista* die *Valvula Eustachii* erreicht, so daß die Lage und Ausdehnung des Sinusknotens trotz seiner Reduktion doch noch ziemlich genau mit den Einrichtungen für den Abschluß der großen einmündenden Herzvenen unter Berücksichtigung der mechanisch wirkenden erhaltenen unteren Reste der rechten Sinusklappe korrespondiert.

Wie verhält es sich nun mit dem 2. Abschnitt an der Vorhofskammergrenze? Hier ist die Reduktion eine noch weitergehende und der Bau des Reizleitungssystems mit seinen baumartigen Verzweigungen ist scheinbar kaum noch mit dem Klappenapparat an der Vorhofskammergrenze in Verbindung zu bringen. Aber nur scheinbar, in Wirklichkeit nämlich sind die Beziehungen ganz ausgesprochene.

Wie ich im vorhergehenden ausgeführt habe, halte ich die Trennung des ursprünglich fortlaufenden Herzschauches an der Vorhofskammergrenze durch die *Annuli fibrosi* in erster Linie dadurch bedingt und zweckmäßig, daß die Ventrikel infolge funktioneller Anpassung an ihre im extrauterinen Leben so gewaltige Aufgabe an Muskelmasse derart zunehmen, daß sie wegen ihrer von der Vorhofsmuskulatur so verschiedenen Funktion von dieser isoliert werden müssen. Zur Regulierung des Blutstromes sind deshalb Klappenapparate erforderlich, die bei dem so kompliziert gebauten und hochentwickelten menschlichen Herzen ebenfalls einen komplizierten Apparat darstellen, d. h. einen halbmechanisierten Klappenapparat, für welchen wir die Papillarmuskeln und die rein mechanisch funktionierenden Segelklappen vor uns haben. Die Beziehungen des Reizleitungssystems gelten natürlich dem nichtmechanisierten Abschnitt des Klappenapparats, d. h. den Papillarmuskeln. Wir brauchen deshalb an der Circumferenz der Atrioventrikulargrenze keine spezifischen Muskelsysteme oder höchstens nur insoweit, als die gewöhnliche quergestreifte Ringmuskulatur an der Kammerbasis bei der Systole für eine gewisse Festigung der Klappenansatzpunkte in Frage kommt. Es erscheint mir nicht unwahrscheinlich, daß in diesem Sinne die noch im Bereiche des Vorhofs liegenden Abschnitte des Reizleitungssystems in Frage kommen, da man Ausstrahlungen von ihnen in das Wurzelgebiet der *Mitralis* und *Tricuspidalis* beobachten kann. Viel wichtiger ist aber die Ausbreitung der Schenkel zu dem Papillarmuskelgebiet, d. h. zu der nichtmechanisierten Komponente des Klappenapparats. Man könnte so aus rein theoretischen Erwägungen anzunehmen geneigt sein, daß die Ausbreitungen des Reizleitungssystems sich in Wahrheit hauptsächlich nur auf das Wurzelgebiet der Papillarmuskeln und das Trabekelwerk, aus welchem sie sich aufbauen, hinziehen. Ich kann aus eigener Erfahrung nicht sagen, ob meine Annahme den tatsächlichen Verhältnissen entspricht. Die Angaben, die vorliegen, sprechen nicht dagegen, da die Ausbreitungen vorwiegend im Papillar- und Spitzengebiet der Ventrikel beschrieben werden. Es wird uns so auch der eigenartige Bau des Reizleitungssystems an der Vorhofskammergrenze mit seinen baum-

artigen Verzweigungen, der sich von dem Aufbau des Sinusknotens wesentlich unterscheidet, verständlich (s. Tafel XIII). Im Bereiche der Sinusvorhofsgrenze ist die Reduktion der spezifischen Muskelemente in dem Sinne durchgeführt, daß wir den Sinusknoten nur noch längs der Muskelleiste finden, welche den Abschluß der alten Sinusmündung, also der Vena cava superior und inferior vom Vorhof bewirkt. Er hört da auf, wo Klappen (Valvula Eustachii und Valvula Thebesii) helfend eingreifen. Er reicht deshalb bei Tieren, die nicht über diesen Klappenapparat verfügen, viel weiter herunter, bis in die Nähe der Vena cava inferior, als beim Menschen. Außerdem entspricht die stärkste Ausbildung des Sinusknotens, der sog. Kopfteil, auch ziemlich der stärksten Ausbildung, dem Wurzelgebiet der Crista terminalis.

Bei dem zweiten Grenzüberschnitt ist die Reduktion der Übergangsmuskulatur noch viel weiter durchgeführt. Um die Verbindung zwischen Vorhof und Kammern aufrechtzuerhalten, besteht noch ein strangförmiger Rest der Übergangsmuskulatur an der Vorhofskammergrenze. Die Klappenbasis jedoch zeigt keine spezifischen Muskelemente mehr, da die eigentlichen Klappen nichtmuskuläre, mechanische Herzelemente geworden sind. Dafür finden wir aber ausstrahlende Züge der Übergangsmuskulatur von spezifischem Bau im Bereiche der Papillarmuskeln, welche als integrierender Bestandteil des Klappenapparats anzusehen sind.

Die Ursachen für die Reduktion und den Umbau der spezifischen Muskelsysteme, wie er sich besonders am Reizleitungssystem kenntlich tut, sind also im Grunde genommen die gleichen; nur bedarf die Frage noch der Klärung, wie das Herz zu dem als isolierte Schenkel in die Ventrikel weit nach abwärts verlaufenden spezifischen Elementen kommt, wenn es sich einfach um Reduktionsprozesse einer Übergangsmuskulatur an der Vorhofskammergrenze handeln soll. Ein Vorwachsen der Schenkel in die Ventrikel nach abwärts ist nach entwicklungsgeschichtlichen Beobachtungen auszuschließen.

Dagegen läßt sich die Anordnung leicht verstehen, wenn man, wie ich es vorher ausgeführt habe, die Bildung der beiden Kammern auf Ausstülpungsprozesse zurückführt, d. h. mit anderen Worten, daß das Kammerseptum weniger dadurch entsteht, daß es vom Boden der ursprünglich gemeinsamen Kammer nach oben wächst, sondern vielmehr dadurch, daß sich von der ursprünglichen Umrandung des Herzschlauches, die noch in der Pars membranacea angedeutet ist, die Ventrikel zu beiden Seiten nach unten und abwärts stülpen und mit ihrer zusammengelegten inneren Wandung die Kammerscheidewand bilden. Durch diesen Ausstülpungsvorgang werden die für das Säugetierherz typischen Abschnitte der spezifischen Muskelsysteme, die Schenkel und Endausbreitungen, mit nach abwärts gezogen, soweit sich Papillarmuskeln entwickeln.

Noch Weiteres läßt sich dadurch erklären; so das unterschiedliche Verhalten des rechten und linken Schenkels des Reizleitungssystems sowie die Lage der Schenkel im Herzen. Wie an dem *Keith'schen* Schema vom Grundtypus des Wirbeltierherzens zu erkennen ist, liegen die spezifischen Muskel-

systeme beim niederen Tier, soweit sie nicht die Grenzabschnitte völlig umranden, in enger Folge an der Rückwand des Herzens an der Vorhofs- und Kammerbasis. Dies sind und bleiben auch im Säuger- und Menschenherzen die konservativsten und unbeweglichsten Abschnitte, die auch noch nahe Beziehungen zum ursprünglichen Sinus erkennen lassen. Wie ich bei der Beschreibung der Gipsmodelle des Herzens an der Hand der Ventrikelmaße gezeigt habe, sind Verschiebungen der Ventrikularmuskulatur im Bereiche der hinteren oberen Interventrikularfurche die geringsten. Hier tritt das Bündel in den Bereich der Kammern ein und verzweigt sich eigentlich nur im trabecularen Abschnitt des Einströmungsgebietes. Nur zu diesem kann es, wenn die Zugehörigkeit zum Klappenapparat des Herzens die ausschlaggebende ist, Beziehungen haben, da das Ausströmungsgebiet an der Bulbusgrenze in Gestalt der Taschenklappen, die gegenüber dem halbmechanisierten Klappenapparat an der Atrioventrikulargrenze völlig mechanisiert sind, mit Klappeneinrichtungen versehen ist, die keiner spezifischen Muskelsysteme mehr bedürfen. Wir werden deshalb die Ausbreitungen des Reizleitungssystems im Einströmungsgebiet der Kammern zu suchen haben. Die Schenkel ziehen nun beiderseits an der Grenze von Ein- und Ausströmungsgebiet in die Kammern hinein und müssen daher in ihren obersten Abschnitten, d. h. dem Stamm, die ursprüngliche Umrandung des Herzschlauches an seiner Hinterwand darstellen. Das stimmt mit den tatsächlichen Befunden überein, indem der Stamm in der hinteren Kante der Pars membranacea verläuft und hinten auf die obere Kante der Ventrikelscheidewand auftrifft. Die weiteren Ausbreitungen in Gestalt der Schenkel und deren Verzweigungen sind durch den erwähnten Ausstülpungsprozeß der Kammern in das Einströmungsgebiet hinabgezogen worden.

Auch dieses Verhalten des Reizleitungssystems zeigt uns wieder, daß die Einteilung der Kammern in Ein- und Ausströmungsgebiet, wie sie schon von *Krehl* vorgeschlagen wurde, die sinngemähere und z. B. der Einteilung in supra- und infrapapillären Raum vorzuziehen ist. Die Einteilungen decken sich durchaus nicht, da das Einströmungsgebiet sowohl dem supra- wie dem infrapapillären Raume zugehört und das Ausströmungsgebiet nur einen Teil des suprapapillären Raumes ausmacht. Man könnte statt dessen extra- und intrapapillärer Raum sagen, wobei der intrapapilläre Raum die Einströmungsbahn umfaßt, soweit sie von den trabecularen Kammerabschnitten innerhalb der Papillarmuskeln-Sehnenfäden- und Klappenbezirke beherrscht wird, während der extrapapilläre Abschnitt der Ausströmungsbahn jenseits der Grenzscheiden und außerhalb der Papillarmuskelgebiete entsprechen würde.

Die Verschiedenheiten in Bau und Lage des rechten und linken Schenkels des Reizleitungssystems finden ebenfalls eine gewisse Erklärung. Daß der rechte Schenkel zunächst intermuskulär verläuft, ist darauf zurückzuführen, daß wir rechterseits auch am erwachsenen Herzen noch das geschlossene Bulbusrohr vor uns haben, welches bei der Biegung der Ausströmungsbahn nach oben sich vor und auf die Einströmungsbahn legt; links ist das nicht

der Fall; hier sind Ein- und Ausströmungsbahn nur durch ein Septum und die große Mitralisklappe getrennt. Deshalb haben wir hier gleich subendokardialen Verlauf der Schenkel.

Die breite fächerförmige Ausdehnung und Zweiteilung des linken Schenkels erklärt sich aus der Zweizahl der Papillarmuskelgruppen im linken Ventrikel und aus der Zusammensetzung derselben aus mehreren einzelnen Papillarmuskeln. Rechterseits beherrscht der äußere vordere Papillarmuskel vorwiegend die Klappenstellarbeit. Zu ihm zieht deshalb der rechte Schenkel in direktester Linie als isolierter Strang. Da dieser Papillarmuskel meistens nur einen schlanken isolierten Kegel bildet, ist eine Aufsplitterung des Schenkels wie links nicht nötig. Von seinem Fußpunkt aus gehen feinere Verzweigungen zu dem weniger bedeutenden äußeren hinteren Papillarmuskel. Der mediale Papillarmuskel ist eigentlich nur noch ein sehniges Rudiment, welches keiner Beziehungen zu dem spezifischen Muskelsystem mehr bedürfte; trotzdem bestehen diese Beziehungen noch in dem Sinne, daß der rechte Schenkel stets unter seinem Fußpunkt seinen Verlauf nimmt.

Wenn wir diese Beziehungen des Reizleitungssystems zu den Papillarmuskeln im Auge behalten, wird uns auch verständlich, warum bei niedersten Tieren keine isolierten Schenkel, sondern noch ringförmige Anordnung der spezifischen Muskulatur beobachtet wird. Erst wenn Papillarmuskeln auftreten, wie es z. B. am Salamanderherzen schon angedeutet ist, tritt eine stärkere Isolierung bestimmter Gruppen des spezifischen Klappenringes auf, und man sollte daher aus theoretischen Gründen am Vogelherzen nur linkerseits, wo Segelklappen mit Papillarmuskeln bestehen, mehr isolierte Muskelbündel spezifischen Gewebes erwarten, dagegen nicht im rechten Ventrikel, wo eine fleischige Klappe ohne zugehörige Papillarmuskeln den Abschluß gegen den Vorhof bewirkt. Die histologischen Untersuchungen in dieser Hinsicht sind noch sehr widerstreitend und meiner als möglich angegebenen Anschauung scheint die Tatsache zu widersprechen, daß, wie ich mich selbst überzeugt habe und wie es auch von *Tawara* schon angegeben ist, das Vogelherz besonders wohl ausgebildete und sehr reichliche *Purkinjesche* Faser enthält, die nicht nur im linken Ventrikel, sondern fast noch reichlicher im rechten Ventrikel, außerdem im Vorhof zu finden sind und die wir nach *Tawaras* Untersuchungen mit dem Reizleitungssystem in Zusammenhang bringen müssen. Die Fasern haben dabei engste Beziehungen zum Herzgefäßsystem und man findet sie mit den Verzweigungen der Kranzgefäße weit in die Muskulatur hineinlaufend. Wenn man sich aber den Umstand vergegenwärtigt, daß die fleischige Klappe im rechten Ventrikel nichts anderes ist als eine Einstülpung der basalen Wand der Ventrikeltriebmuskulatur, so daß bei der besonderen Inanspruchnahme des rechten Herzens beim Vogel der Klappenschluß so hoch organisiert ist, daß er mit der Aktion der Triebmuskulatur in eins verschmolzen wurde, so wird uns auch die Anwesenheit der *Purkinjeschen* Fasern im rechten Ventrikel nicht wundernehmen. Wenn man bedenkt, daß das Herz kleiner Singvögel bis

zu 900 Pulsen aufweisen soll, wenn man die Arbeitsleistung des in der Luft schwebenden und noch singenden Vogels sich vorstellt, so wird man sich nicht wundern, daß gerade das Vogelherz hoch organisiert sein und der rechte Ventrikel ganz besondere Klappensicherungen haben muß. Vielleicht steht damit auch im Zusammenhang, daß wir die *Purkinjeschen* Fasern am Vogelherzen nicht nur subendokardial und intramuskulär, sondern auch subperikardial in Begleitung der Herzarterien finden und sie außerdem in dem überaus muskulösen Vorhof, ebenfalls als Arterienbegleiter, nachweisen können. Jedenfalls bedarf das Vogelherz noch diesbezüglicher genauester Nachforschung.

Wie das Herz in seiner Entwicklung stufenförmig die Herzstadien durchläuft, die wir phylogenetisch in den Herzen der niederen Wirbeltiere fixiert finden, sehen wir auch ontogenetisch im Herzen selbst eine stufenförmige Differenzierung der aufeinanderfolgenden verschiedenen Herzabschnitte bestehen bleiben. Der Anfangsteil des Herzrohres, welches sich durch Unterteilungen, Umbiegungen, Umformungen und Akkommodation zu dem komplizierten Organ umbildet, welches wir im Herzen des Erwachsenen vor uns haben, wahrt mit seinen mehr spindeligen Vorhofsmuskelfasern und seinem Bindegewebsreichtum den Charakter der Venen- und Sinuswandungen, aus denen er sich entwickelt. In den Ventrikeln finden wir die breiteren und plasmareicheren, höher differenzierten Muskelfasern und ein gegenüber dem Vorhof stärkeres Zurücktreten des intermuskulären Bindegewebes. Der Bulbusabschnitt ist zum Teil wieder völlig muskulär zurückgebildet und zu den arteriellen Ausflußbahnen differenziert, die sich von dem peripheren Schlagadersystem nicht mehr unterscheiden. Diesem histologischen Bau entsprechen die Funktionen der einzelnen Herzabschnitte. Der Vorhof dient vor allem als Sammelreservoir der zuführenden Blutadern, die eingewebte Muskulatur zur Anpassung des Vorhofsraumes an seine wechselnden Füllungszustände und wahrscheinlich nur in untergeordneter Weise zur eigentlichen Pumparbeit. Die Ventrikel stellen in ihrer Gesamtheit das Triebwerk des Herzens dar. Im Bulbus und den ableitenden Schlagadern haben wir vorwiegend Leitungsröhren zu sehen. Dieser Differenzierung entsprechen wiederum die Klappeneinrichtungen des Herzens. An der Venenvorhofsmündung hat die *Crista terminalis* an der Stelle der rechten Sinusklappe die Funktionen muskulären Sphinkterklappenschlusses übernommen. Ihre Arbeit wird zum Teil noch unterstützt durch nichtmuskuläre Reste der rechten Sinusklappe in Gestalt der *Valvula Eustachii* und *Valvula Thebesii*. An der Vorhofskammergrenze finden wir schon einen halb mechanisierten Klappenapparat in Gestalt der Segelklappen und Stellmuskeln. An der Bulbusgrenze liegen völlig mechanisierte Klappeneinrichtungen, die Taschenklappen der Aorta und Pulmonalis. Die Beziehungen der spezifischen Muskelsysteme zu den Herzklappen sind schon im vorhergehenden erörtert worden. Auch sie zeigen zunehmende Differenzierung vom Anfang bis zum Ende des Herzschlauches. Der Sinusknoten zeigt die feinspindelige, bindegewebsreiche Muskulatur, die ihn der Sinus- bzw.

Vorhofsmuskulatur verwandt erscheinen läßt. Dasselbe läßt sich in gewissem Grade von dem Vorhofsteil des *Aschoff-Tawaraschen* Knotens sagen. Es ist nicht auszuschließen, daß auch er mit seiner Lage am unteren Winkel der Sinuskappen noch zu der Sinusvorhofsübergangsmuskulatur in Beziehung zu bringen ist; sonst entspricht er zum mindesten der Basalwandmuskulatur als direkte Fortsetzung der Sinusübergangsmuskulatur. Die Kammerabschnitte der spezifischen Muskelsysteme zeigen eine fortschreitende Differenzierung in dem Sinne, daß die Muskelfasern, die zwar im Kammerteil des Knotens noch relativ spindelig sind, doch gegenüber dem Sinusknoten kompakter erscheinen und immer weniger Bindegewebe führen, bis sie nach Eintritt in die eigentlichen Kammern sich zu den breiten bekannten sarkoplasmareichen Fasern umwandeln, die wieder der Kammermuskulatur näherstehen. Am Bulbusabschnitt sind, wie schon früher ausgeführt, wegen der Mechanisierung der Klappeneinrichtungen spezifische Muskelsysteme im menschlichen Herzen nicht mehr notwendig.

Besondere Aufmerksamkeit verdienen die spezifischen Muskelsysteme der embryonalen und fötalen Herzen. Sie sind etwa zur Mitte des intrauterinen Lebens schon so prägnant differenziert, daß sie besonders gut in ihrer Lage und Verlauf übersehen werden können. Es fällt dabei auf, daß sie einerseits sich histologisch schon sehr scharf, fast noch besser als im extrauterinen Leben von ihrer Umgebung unterscheiden und daß sie andererseits im Verhältnis sehr viel größer sind als später. Das gilt besonders vom Reizleitungssystem. Ich habe schon im vorhergehenden darauf aufmerksam gemacht, daß der Stamm des Bündels an der Kuppe des Ventrikelseptums fast die ganze Dicke der Muskulatur beherrschen kann. Es wäre weiter noch nachzutragen, daß die höheren Abschnitte, die sich später zum *Aschoff-Tawaraschen* Knoten konzentrieren, ihrerseits die ganze Basis der Vorhofsscheidewand, dort wo sie sich der Pars membranacea anlegt, beherrschen können und ausgesprochen die Wurzel der dort ansetzenden großen Segelklappen, der Tricuspidalis und Mitralis zu bilden pflegen.

Am Sinusknoten ist im fötalen Herzen ein ähnliches Verhalten zu beobachten, als derselbe in etwa dreieckiger Gestalt die ganze Dicke der Venenvorhofswand einnimmt, ähnlich wie wir es am Tierherzen (Hund, Affe, Kaninchen) zu sehen gewohnt sind. Seine Muskelfasern unterscheiden sich dabei schon durch größere Zierlichkeit und geflechtartige Anordnung von der gewöhnlichen Vorhofsmuskulatur und den Vorhofsfasern an der Cava superior. Außerdem ist in einem speziellen Präparat eines etwa 5 Monate alten Herzens an der Basis des Sinusknotens in fortlaufender Serie eine kleine Endokardfalte, welche noch Reste von Muskelfasern enthält, zu verfolgen, die als Rest der rechten Sinusklappe anzusprechen ist.

Der rechte und linke Schenkel des Reizleitungssystems zeigen am fötalen bzw. embryonalen Herzen noch nicht das ausgesprochen verschiedene Verhalten im Bau und in der Anordnung, wie sie das erwachsene Herz aufweist. Besonders am Abgang der Schenkel vom Stamm kann man beobachten, wie

die Schenkel in fast gleicher Stärke und Ausbildung längs des Septums, auf welchem sie dachreiterartig sitzen, herunterziehen. Diese fast gleichwertigen Beziehungen zu beiden Herzkammern finden in der im embryonalen und fötalen Leben viel mehr zutage tretenden Symmetrie der Herzhälften ihre Erklärung. An einem Herzen des 3., 4. oder 5. intrauterinen Lebensmonats steht die rechte Kammer der linken in keiner Weise nach; dasselbe ist von den Größenverhältnissen der Vorhöfe zu sagen. Ich habe schon darauf hingewiesen, daß das fötale linke Herzohr durchaus an Größe mit dem rechten korrespondiert. Da der linke Vorhof im fötalen Kreislauf, wo beide Vorhöfe kommunizieren, ebenso in Anspruch genommen wird wie der rechte, ist das auch nicht zu verwundern, und dasselbe ist von der Symmetrie der Kammern zu sagen, die, solange der Ductus Botalli besteht, ebenfalls gleiche Arbeit zu leisten haben werden. Die relativ kräftige Entwicklung des rechten Herzens bei kleinen Kindern, die fälschlich so oft als Hypertrophie bezeichnet wird, erinnert noch an die fötalen Verhältnisse. Erst wenn das Foramen ovale geschlossen ist und der Ductus Botalli obliteriert, stellen sich infolge ungleichmäßiger funktioneller Inanspruchnahme die asymmetrischen Verhältnisse ein. Das zeigt sich am linken Vorhof besonders an der Rückbildung des linken Herzohres, an den Ventrikeln an der Zunahme der Triebmuskulatur der linken Kammer, am Reizleitungssystem an der sehr viel mächtigeren Ausbildung des linken Schenkels bzw. stärkeren Rückbildung des rechten. Die Zunahme der linksseitigen Ventrikellmaße ist dabei vorwiegend auf die Ausbildung des *Krehlschen* Triebwerkes zurückzuführen. Daß es sich bei ihm um ein erst nachträglich auf funktioneller Basis gebildetes Muskelsystem handelt, geht, abgesehen von den schon erwähnten entwicklungsgeschichtlichen Beobachtungen, auch daraus hervor, daß dieses Triebwerk nicht bis zur Spitze reicht, sondern einen unten offenen Kegelmantel bildet, wie es die *Krehlsche* Abbildung und die von *Tandler* als Wandfasern des linken Ventrikels, von *Mall* als tiefe Bulbusspirale beschriebenen Wandabschnitte zeigen. Jedenfalls wäre entwicklungsgeschichtlich diese Unterbrechung des Herzmuskelschlauches an der Spitze nicht mehr zu begründen.

Wenn, wie vorher gesagt, etwa in der Mitte des fötalen Lebens das Größenverhältnis zwischen spezifischer und gewöhnlicher Herzmuskulatur sich zu gunsten der ersteren entscheidet, so tritt das in noch jüngeren Herzen auch noch deutlicher in Erscheinung. Wie ich im Anhang des Näheren ausgeführt habe, läßt sich am Sinusknoten des embryonalen Herzens das typische Gewebe nicht nur längs der Crista terminalis, d. h. an der Basis der rechten Sinusklappe, sondern auch am Ansatzpunkt der linken Sinusklappe nachweisen. Das bedeutet nicht nur eine räumlich größere Inanspruchnahme der spezifischen Muskelsysteme im Herzbau, sondern gleichzeitig auch die Annäherung an den Bau der Herzen niederer Wirbeltiere. Je einfacher die Klappeneinrichtungen des Herzens zu sein pflegen, desto größer sind im Verhältnis die Abschnitte, welche durch die zugehörigen spezifischen Elemente beherrscht werden, oder mit anderen Worten, je weniger die Blutregulierung durch

mechanische Klappenapparate gewährleistet wird, sondern mehr durch Regulationsmechanismen, die muskulös, sphincterartig im Bau des Herzschlauches eingeschaltet und verankert sind, desto größer sind die Abschnitte der spezifischen Muskelsysteme und um so weiter umgreifen sie bis zu völliger Ringbildung, den gesamten Herzschlauch an den Stellen, wo der Blutstrom reguliert werden soll. So ließe sich theoretisch das niederste Wirbeltierherz ganz aus spezifischen Muskelfasern aufgebaut denken. Auch der Zusammenhang der im erwachsenen Menschenherzen getrennt sich findenden spezifischen Muskelsysteme ist noch ein deutlicher, wenn man in der Wirbeltierreihe weit nach abwärts geht. Er ist z. B. bei den Fischen längs der Basalwand zwischen Sinusring und Atrioventrikularring zu verfolgen. Im Reptilienherzen finden wir nur noch einen, angeblich sogar außerhalb der Vorhofsmuskulatur verlaufenden Strang, der beim Krokodilherzen schon Unterbrechung aufweist, und beim Säugetierherzen bestehen nach meiner Erfahrung keine Verbindungen mehr. Das korrespondiert im ganzen mit der Reduktion, welche die spezifischen Systeme in den Herzen höherer Wirbeltiere im Zusammenhang mit der fortschreitenden Mechanisierung der Klappenapparate durchmachen. So gehen auch die Beziehungen der spezifischen Systeme zum Bulbusabschnitt des Herzens, die bei niederen Tieren noch ausgesprochen sind, zwar nicht ganz verloren, aber sie treten doch völlig zurück. Ich glaube auch auf Grund dieser Überlegungen sind die *Thorelschen* Verbindungsfasern zwischen Sinusknoten und Atrioventrikularknoten gar nicht mehr zu erwarten. Die Lösung beider Systeme voneinander erfolgt eben schon im Reptilienherzen und es verdient hervorgehoben zu werden, daß nach *Mackenzies* Beschreibung schon der isoliert außerhalb der Vorhofsmuskulatur verlaufende Verbindungsstrang nur das spezifische Sinusknoten- und Ohrkanalgewebe verbindet, aber nicht mit der Ventrikel- oder Vorhofsmuskulatur in Verbindung tritt. Wie weit dieser Strang, der bald ebenfalls unterbrochen wird, noch eine spezifische Funktion hat, wie weit er den ihn begleitenden Vagusfasern nur als Leitbahn dient, entzieht sich meiner Beurteilung.

Auf die Beziehungen der spezifischen Muskelsysteme zu den Nerven und Nervenzellen des Herzens bin ich bei ihrer Beschreibung schon eingegangen, ich möchte hier aber noch einmal an dieselben erinnern, da sie nächst den Beziehungen zu den Klappen die allerausgesprochensten sind.

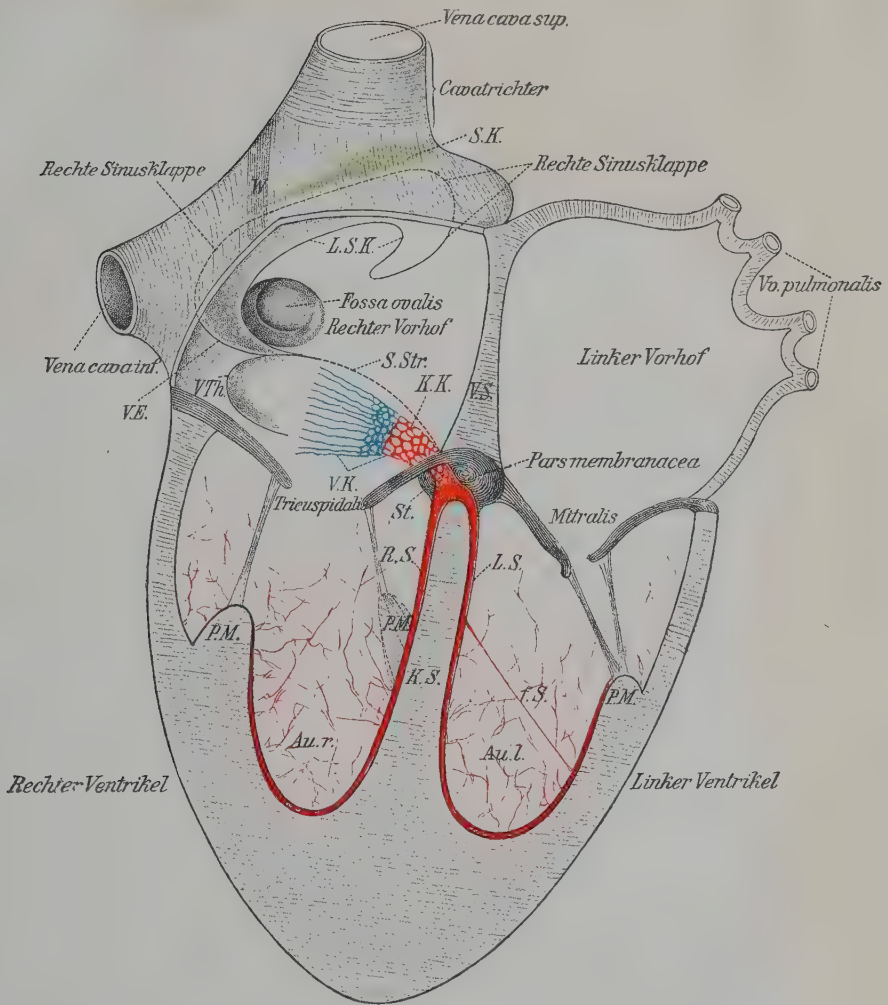
Der Versuch, in unsere Anschauungen über den Bau des Herzens einen einheitlichen Gedankengang zu bringen, wie es mit den vorhergehenden Ausführungen beabsichtigt ist, wird einer eingehenden Kritik bedürfen und vielen Einzelfragen ist ausführlicher nachzugehen. Es zeigt sich eben auch hier, daß ein Fortschreiten unserer Erkenntnis das Gebiet der Erforschung nicht erschöpft, sondern daß im Gegenteil immer neue Probleme auftauchen, die der Lösung nähergebracht werden müssen. Vor allem wollen wir erreichen, daß nicht nur für das normale Geschehen unser Verständnis gefördert wird,

sondern die klinisch- und anatomisch-pathologischen Vorgänge und Veränderungen sollen uns leichter erklärlich werden. Ich glaube, daß in dieser Beziehung für manche Fragen aus dem Vorhergehenden einiges Brauchbare zu schöpfen sein wird. Die Symmetrie des rechten und linken Herzens auf Frontalschnitten, die Muskelarchitektur der Wandungen und besonders der Kammerscheidewand, die Zusammensetzung dieser Wandungen aus den verschiedenen zum Teil erst allmählich sich entwickelnden Schichten und anderes mehr geben die Unterlage für das Studium des hypertrophischen und atrophischen sowie des dilatierten Herzens, zumal wenn die Prozesse getrennte Herzabschnitte betreffen. Es wird weiter von prinzipieller Bedeutung sein, ob die Ventrikel als ein gemeinsamer Hohlraum anzusehen sind, welcher nur durch eine nachträglich emporwachsende Scheidewand getrennt wird, oder ob die Entstehung durch Ausstülpung die gegebene ist. Legen wir die letztere Anschauung zu grunde, so werden wir für manche Fragen eine leichtere Deutung finden. Auch die ausgestülpten Ventrikel stellen ja einen ursprünglich gemeinsamen Hohlraum dar, so daß das Zusammenarbeiten beider Herzabschnitte gewährleistet und erklärlich ist. Der Umbau des Herzens wird dabei außerdem noch die Zusammenarbeit der ursprünglich einander nachgeordneten Kammerabschnitte fördern. Andererseits aber läßt diese Entstehungsart der Kammern ihre, besonders von klinischer Seite (*Kraus*) immer betonte relative Selbständigkeit verständlich erscheinen und wir können uns daraus erklären, daß krankhafte Veränderungen, die bis zur Störung in der Synergie beider Ventrikelhälften führen, ausschließlich oder fast isoliert in der einen Kammerhälfte auftreten.

Unter gleichen und ähnlichen Gesichtspunkten wird auch ein Studium der Herzmuskel- und Herzklappenerkrankungen vielleicht noch neue Forschungswege aufschließen.

Die Anatomie der spezifischen Muskelsysteme hat weiter der Forschung neue Wege gewiesen. Wir wissen aber noch nicht, ob wir in ihnen nur und überhaupt kardiomotorische Centren oder Reizleitungsbahnen oder beides vermischt zu sehen haben. Wie vor Unterschätzung, wird man sich bei ihrer Bewertung vor Überschätzung zu hüten haben. Die Frage nach ihrer Bedeutung ist aber nur dann einer klinischen oder experimentellen Forschung zugänglich, wenn man die Beziehungen der spezifischen Muskelsysteme zum Bau des Herzens kennt. Daß diese Beziehungen einerseits dem intra- und extrakardialen Nervensystem, vor allem aber dem Klappenapparat des Herzens gelten, muß immer wieder betont werden. Der Pathologie der spezifischen Muskelsysteme wird schon in letzter Zeit genügend Aufmerksamkeit gewidmet. Es sind dabei aber mehr die Veränderungen der Systeme selbst untersucht worden, während die Beziehungen der mehr oder weniger intakten Systemabschnitte zu den zugehörigen pathologisch veränderten Herzabschnitten keine Berücksichtigung fanden.

Ein Einblick in die Literatur über alles das, was das Herz betrifft, zeigt uns, daß die ältesten Untersuchungen oftmals die gründlichsten waren und



Schema der Lage der spezifischen Muskelsysteme im menschlichen Herzen und ihrer Beziehungen zum Klappenapparat des Herzens. Rechter Vorhof nur zum Teil eröffnet, die übrigen Herzhöhlen auf dem Durchschnitt. *W.* Wenckebachscher Muskelzug; *L. S. K.* linke Sinusklappe; *V. E.* Valvula Eustachii; *V. Th.* Valvula Thebesii; *S. Str.* Sinusstreifen; *V. S.* und *K. S.* Vorhofs- und Kammerscheidewand; *S. K.* (grün) Sinusknoten; *V. K.* (blau) Vorhofsknoten bzw. Vorhofsteil des *Aschoff-Tawaraschen* Knotens, Reizleitungssystem (rot); *K. K.* Kammerknoten bzw. Kammerteil des *Aschoff-Tawaraschen* Knotens; *St.* Stamm des Reizleitungssystems (*Hissches* Bündel); *R. S.* und *L. S.* rechter und linker Schenkel des Reizleitungssystems; *Au. r.* und *Au. l.* Ausbreitungen des Reizleitungssystems; *f. S.* falscher Sehnenfaden.

daß wir in ihnen Mitteilungen finden, die vielleicht nicht ganz richtig gedeutet, sicher aber gut beobachtet waren. So dienen uns die Angaben der Alten nach wie vor als Grundlage für alle weitere Forschung. Gerade für das Herz wird das Interesse nicht erlahmen, denn trotz all unseres Wissens trennen uns noch lange Wege von der endgültigen Erkenntnis des Centralorgans, welches das Punctum saliens und Ultimum moriens in sich birgt.

Anhang.

VIII. Entwicklungsgeschichte des Herzens und der spezifischen Muskelsysteme.

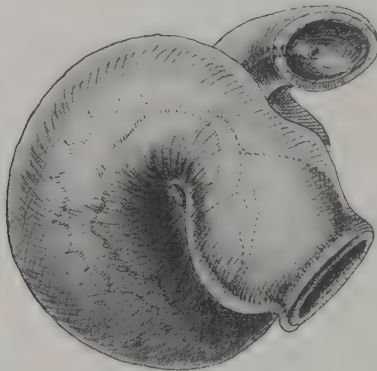
Entwicklungsgeschichte des Herzens.

Die ersten Stufen der Herzentwicklung zeigen uns eine paarige, zwischen Endo- und Mesoderm kranialwärts gelegene Anlage, bestehend aus den Endothelrohren und myoepikardialen Mantel. Aus dieser Anlage entwickelt sich durch Verschmelzung der beiden Rohre der einheitliche Herzschlauch, welcher zunächst einen fast gestreckten kranio-kaudalen Verlauf hat und aus venösem und arteriellem Anteil besteht. Durch ungleichmäßiges Wachstum der einzelnen Abschnitte des Herzschlauches, durch schnelleres Wachstum des an seinen Enden fixierten Organes in seinen mittleren Abschnitten sowie durch Ausbuchtungen, Einschnürungen und Krümmungen macht das Herz eine Reihe von Gestaltsveränderungen durch, die erst im dritten Monate des Fötallebens im wesentlichen abgeschlossen sind. Schon am Embryo von 2 mm Länge lassen sich einzelne Herzabschnitte, Bulbus, Kammerteil und venöser Abschnitt unterscheiden. Das wird noch deutlicher, wenn sich nunmehr der Herzschlauch krümmt. Er bildet zunächst eine Schleife nach rechts, wobei venöses und arterielles Ende sich einander nähern. Die Schleifenform geht bald darauf in eine mehr S-förmige Krümmung über, wobei hinten unten der Vorhofabschnitt, vorn die Ventrikelschleife und darüber der Bulbus gelegen ist (s. Fig. 29).

Das Atrium bildet einen quergestellten weiten Hohlraum, in welchen der Sinus reuniens (Sinus venosus) breit einmündet. Dieser steht mit dem Ductus Cuvieri, Vv. omphalomesentericae und Vv. umbilicales in Verbindung. Die Übergangsstelle zwischen Atrium und Ventrikelschleife verengt sich zu dem sogenannten Auricularkanal; auch der Bulbus ist gegen den Ventrikelabschnitt durch eine Enge an der Stelle, wo die Bulboventrikularfurche die Biegung des Herzschlauches trifft, abgesetzt. Der Bulbus schiebt sich allmählich weiter nach links in die Mitte; die anfänglich nach rechts gekehrte Spitze der Ventrikelschleife senkt sich abwärts, der Vorhof buchtet sich aus und rückt dabei von seiner kaudalen Stelle zuerst dorsal und dann kranial hinter den Bulbus, welcher bald zu beiden Seiten vom Vorhof, dem rechten und linken Atriumabschnitt, umfaßt wird (s. Fig. 30).

Auch der Sinus venosus trennt sich immer schärfer vom Vorhof ab, u. zw. so, daß er durch eine von links herkommende Einschnürung mit seinem Verbindungskanal immer mehr der rechten Hälfte des Vorhofabschnittes zugewiesen wird. Gleichzeitig geht er aus seiner kaudalen Lage in die dorsale über und auch die einmündenden Ductus Cuvieri, welche von unten nach oben verliefen, ziehen später von oben außen nach unten innen in den Sinus venosus hinein. Der so veränderte Sinusabschnitt mit den Ductus Cuvieri wird in diesem Entwicklungsstadium entsprechend anders bezeichnet, u. zw. wird der einmündende linke Ductus Cuvieri linkes Sinushorn, der rechte rechtes Sinushorn und der verbindende Sinusabschnitt Sinusquerstück genannt. Die Mündung des Sinusquerstückes in den rechten Vorhof liegt aber nicht in der Mitte des Querstückes, sondern mehr in der Nähe des rechten Endes desselben, wo das rechte Sinushorn einmündet (s. Fig. 31).

Fig. 29.



Herz eines Embryo von 3·5 mm Länge. (Nach Mall.)

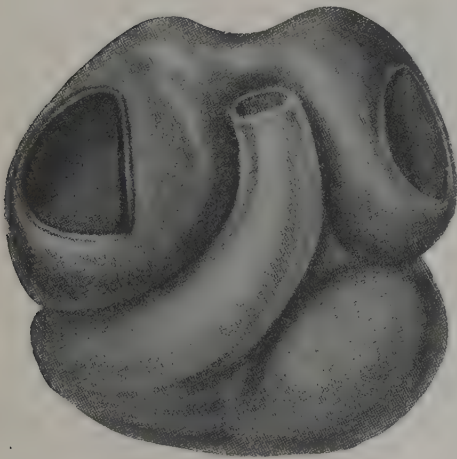
Es sei schon vorweg bemerkt, daß das rechte Sinushorn zur späteren Vena cava superior, die gemeinsam mündenden Lebervenen zur Vena cava inferior werden, während das linke Sinushorn sich zurückbildet und das Sinusquerstück als Coronarvene erhalten bleibt.

Die beiden Ventrikelschenkel (kaudaler und kranialer) früherer Entwicklungsstufe, welche durch die Bulboventrikularfurche weitgehend voneinander getrennt waren, bilden später durch Zurückbleiben des von der vorgenannten Furche vorgeschobenen trennenden Wandstückes einen gemeinsamen Hohlraum, welcher sich vom Bulbus nicht mehr so scharf abgrenzt. In diesen gemeinsamen Ventrikelraum mündet der Auricularkanal zunächst noch ziemlich weit an der linken Seite. Durch Ausstülpung der Ventrikelwand aber und zunehmende Vergrößerung des Vorhofes rückt er als querer Spalt immer mehr in die Mitte und bildet das gemeinsame Ostium atrio-ventriculare. Damit ist das Stadium der Herzentwicklung überholt, in welchem wir die Reihenfolge der Herzabschnitte folgendermaßen fanden: Sinus venosus, rechter Vorhofabschnitt, linker Vorhofabschnitt, Auricularkanal, linker Ventrikel, rechter Ventrikel, Bulbus. Ich erwähne diese Anordnung deshalb, weil ich es für die

Beurteilung der Herzaktion für nicht unwichtig halte, daß in einem bestimmten Entwicklungsstadium des Herzens der linke Vorhofabschnitt dem rechten mit dem Sinus venosus kommunizierenden anatomisch nachgelagert ist.

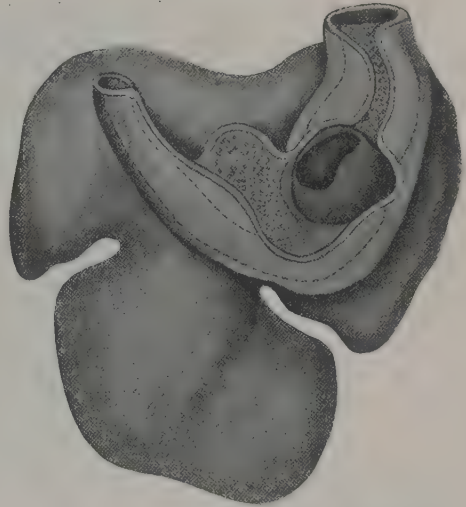
Die nun folgenden Veränderungen in der Entwicklung des Herzens bestehen vorwiegend darin, daß sich durch Bildung von Scheidewänden die einzelnen Herzhöhlen differenzieren. An der rechten Umrandung der Einmündungsstelle des Sinus venosus bildet sich die rechte Sinusklappe, welche vom Vorhofsdach über die Hinterwand nach unten zieht und bald ein mächtiges Gebilde wird. An der Stelle, wo der dem gemeinsamen Vorhof aufliegende Bulbus die Vorderwand einbuchtet, entsteht oben eine Leiste, welche als Septum primum nach vorn und hinten sichelförmig ausläuft. Auch linkerseits an der

Fig. 30.



Modell des Herzens eines menschlichen Embryo von 4.7 mm Länge. (Nach Tandler, Anatomie des Herzens.)

Fig. 31.



Herz eines 4wöchigen Embryo von der Rückseite her mit anhaftendem Sinus reunions. (Nach His.)

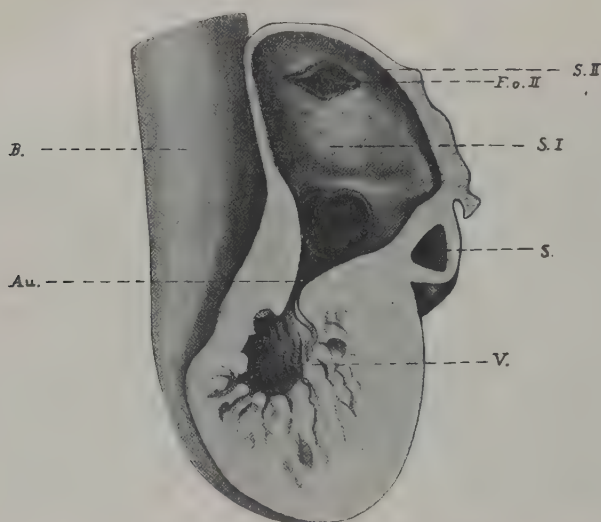
Sinusmündung entsteht eine (sehr viel kleinere) Klappe, die linke Sinusklappe, die sich an ihrem oberen Ende mit der rechten Klappe zum Septum spurium vereinigt. Zwischen letzterem und dem Septum primum bildet sich eine bucklige Vorwölbung des Vorhofsdaches, das sog. Spatium interseptovalvulare. Durch das erwähnte Septum primum ist also die erste unvollkommene Teilung des Vorhofes in rechten und linken Vorhof bewerkstelligt. Die Ausläufer des Septum primum reichen bis an den Auricularkanal, wobei die verdickten Ränder des Septums das sogenannte Foramen ovale I umschließen. In dem Septum primum bildet sich weiterhin hinten oben wiederum eine Lücke unter dem Vorhofsdach, das sogenannte Foramen ovale II, neben welchem sich rechterseits das Septum secundum, vom Vorhofsdach herabhängend, vorschiebt (s. Fig. 32).

Das vorerwähnte Septum primum ist mit seinen unteren Ausläufern bis zum Auricularkanal zu verfolgen.

Hier sind an der hinteren und vorderen Wand endokardiale Verdickungen aufgetreten, die sog. vorderen und hinteren Endokardkissen, welche schließlich miteinander verwachsen und so das gemeinsame Ostium atrioventriculare in ein linkes und rechtes venöses Ostium teilen, wobei dann auch das Foramen ovale I verschwindet.

Am Ventrikel macht sich ebenfalls eine Zweiteilung bemerkbar, u. zw. durch die Intraventrikularfurchen, welche den gemeinsamen Ventrikel in zwei Abschnitte, einen linken und einen rechten, andeutungsweise zerlegen. Im Innern besteht allerdings noch durch das Foramen interventriculare eine breite Kommunikation beider Höhlen. Diese bleibt vorerst

Fig. 32.



Sagittalschnitt durch das Herz eines menschlichen Embryo von 9 mm Länge. (Nach Tandler.) Au. Auricularkanal; B. Bulbus; F. o. II Foramen ovale II; S. Sinus venosus; S. I Septum primum; S. II Septum secundum; V. Ventrikel. Unter dem Septum primum oberhalb des Auricularkanals befindet sich das Foramen ovale I.

bestehen. Durch Vordrängen einer Muskelleiste vom Boden des gemeinsamen Ventrikels wird darnach die Zweiteilung des Kammerherzens in die Wege geleitet, welche durch Ausstülpungsprozesse der Ventrikelwandung nach außen und unten von dieser Leiste zu der Bildung der Ventrikelscheidewand und getrennter Ventrikelabschnitte führt. Die Ventrikelscheidewand richtet sich dabei aber nicht gegen die Mitte der Endothelkissen im Auricularkanal, wie die Scheidewand der Vorhöfe, sondern mehr nach rechts auf das rechte vorspringende Ende der Endothelkissen zu, wo die durch Schwund der ursprünglich aneinanderliegenden Bulbusventrikelscheidewand gebildete Bulboauricularleiste den nach rechts verlagerten Auricularkanal vom Bulbus abtrennt.

Im Bulbus selbst entwickeln sich im proximalen, d. h. im rechten Ventrikelabschnitt die sog. proximalen Bulbuswülste, ebenfalls Endothelverdickungen, welche an der vorderen und hinteren Wand spiralig verlaufen.

Weiter gegen den Truncus arteriosus zu entstehen vier distale Bulbuswülste, von denen zwei gegenüberliegende sich stärker ausbilden und in die proximalen auslaufen. Auch diese distalen Bulbuswülste haben spiraligen Verlauf. Durch Vorwachsen des Septum aortico-pulmonale vom Truncus arteriosus aus kardialwärts gegen die sich einander nähernden großen distalen Bulbuswülste und durch schließliche völlige Vereinigung derselben wird der gemeinsame Bulbus in zwei getrennte Rohre zerlegt, die Aorta und die Pulmonalis, welche infolge des spiraligen Verlaufes der Bulbuswülste ebenfalls umeinandergeschlungen sind, u. zw. so, daß proximal die Pulmonalis vorn und rechts, die Aorta hinten links, in der Mitte die Pulmonalis links, die Aorta rechts und distal die Pulmonalis hinten, die Aorta vorn gelegen ist.

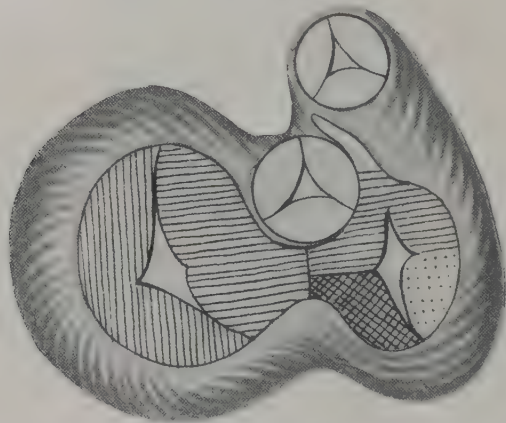
Bei der Entwicklung der Klappenapparate des Herzens ist der Vorgang derartig, daß aus den vier distalen Bulbuswülsten durch Teilung der größeren sich sechs entwickeln, von denen je drei für Aorta und Pulmonalis durch Unterminierung und Ausstülpung von der Truncusseite her zu den späteren Taschenklappen sich umwandeln, welche auf Grund ihrer Entstehung sich so anordnen, daß wir in der Pulmonalis eine vordere und zwei hintere, in der Aorta zwei vordere und eine hintere Klappe haben, wobei die einzelne vordere und hintere Klappe aus den kleinen Bulbuswülsten, die aneinanderstoßenden beiden Klappenpaare der großen Gefäßstämme aus den geteilten großen Bulbuswülsten hervorgehen.

Die Atrioventrikularklappen sind ebenfalls im wesentlichen Abkömmlinge von Endothelverdickungen, u. zw. bildet der linke Rand der vereinigten mittleren Endothelkissen das mediale (vordere) Mitralissegel, während das laterale (hintere) Mitralissegel seine Anlage in der lateralen, an der Ventrikelwand sich entwickelnden Endokardverdickung hat, an welcher ebenfalls eine, wenn auch undeutliche Zweiteilung sich beobachten läßt. Über die Entwicklung der rechtsseitigen Klappen sind die Ansichten noch nicht einig. Mir erscheint die von *Sato*, allerdings an Kaninchenembryonen, gewonnene Anschauung sehr einleuchtend. Darnach entwickeln sich auch rechterseits vier Klappenanlagen, die beiden rechtsseitigen Höcker der centralen Endokardkissen und die ebenfalls aus zwei Abschnitten bestehende laterale Endokardverdickung. Im rechten Ventrikel ist aber die Verschmelzung dieser Wülste zu den Segelklappen eine entgegengesetzte zu der der linken Seite, was nach *Aschoff* und *Sato* aus der verschiedenen Richtung des Blutstroms in der Aus- und Einflußbahn der beiden Ventrikel erklärt werden könnte. Während nämlich rechts die Ausflußbahn vor der Einflußbahn liegt und die Bahnen sich in der Richtung von hinten nach vorn treffen, liegen die Bahnen linkerseits nebeneinander und treffen sich in der Richtung von links nach rechts. Beiderseits ist es aber ein besonderes großes Segel, welches an der Grenze von Ein- und Ausflußbahn gelagert ist, wie vorher näher beschrieben worden ist, u. zw. links das große mediale Mitralissegel, rechts das große vordere Tricuspidalissegel. Dementsprechend haben wir im rechten Ventrikel die Bildung der Tricuspidalsegel uns so zu denken, daß der vordere rechte Höcker der centralen Endothel-

kissen mit dem vorderen Abschnitt der lateralen Endokardverdickung zum großen vorderen Tricuspidalsegel verschmilzt. Die entsprechenden hinteren Abschnitte der lateralen und medialen Endothelwülste vereinigen sich hier aber nicht, sondern bleiben für sich bestehen und entwickeln sich zu der hinteren medialen und hinteren lateralen Tricuspidalklappe (s. Fig. 33).

Mit den venösen Klappen, die durch die Unterminierung von der Ventrikel-seite her entstanden sind, stehen die aus der Spongiosa der Ventrikelwand hervorgehenden Trabekel in Verbindung, von denen sich bestimmte Gruppen zu den späteren Papillarmuskeln umwandeln. Die zeitweilig in ihren Randpartien muskulösen Klappen nehmen allmählich durch Einwachsen von Bindegewebe von der Atrioventrikularfurche her fibrösen Charakter an und stehen mit den Muskeln, deren Ansatzenden ebenfalls fibrös werden, durch die

Fig. 33.



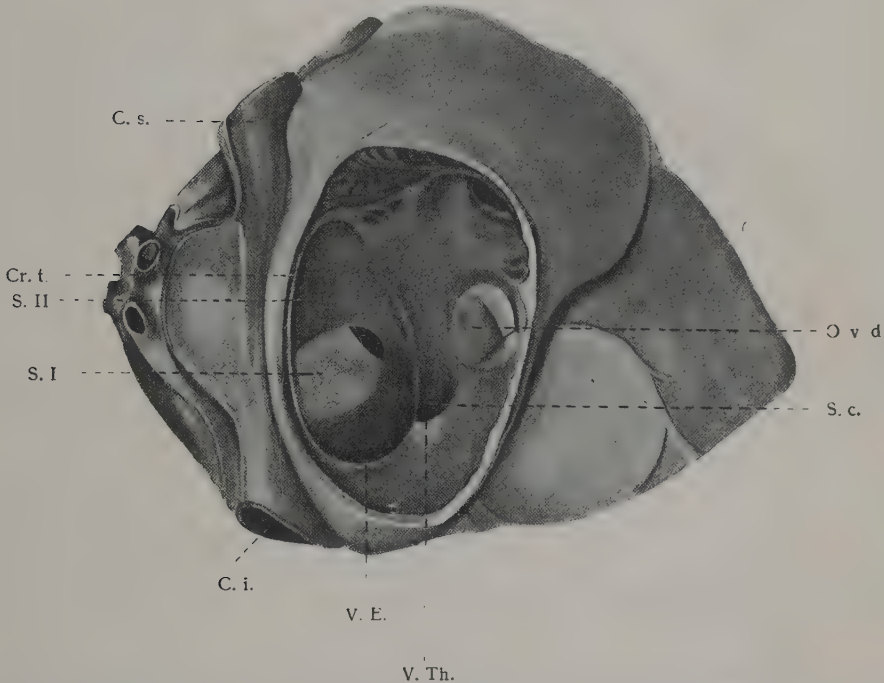
Entwicklung der Atrioventrikularklappen. (Nach Mall, modifiziert nach Aschoff-Sato.)

auf diese Weise entstandenen Sehnenfäden in Verbindung. Durch die bindegewebige Einschnürung des Atrioventrikularkanal werden Vorhöfe und Kammern bis auf einen später zu besprechenden Rest des Auricularkanal vollständig voneinander getrennt. Der Bulbusabschnitt wird durch immer mächtigere Entwicklung des rechten Ventrikels mehr und mehr in diesen hineingezogen, wobei gleichzeitig sein muskulöser Mantel von der Perikardialgrenze nach dem Ventrikel zu zurückweicht, so daß am ausgebildeten Herzen ein großer arterieller Anteil der Aorta und Pulmonalis intraperikardial gelegen ist.

Sehr kompliziert gestaltet sich der Verschluß des Foramen interventriculare. Er kommt nach Mall schließlich zu stande durch Vereinigung des herabwachsenden proximalen Bulbusseptums mit dem vorderen Rande des Septum interventriculare. Aber auch die rechte Hälfte der centralen vereinigten Endothelkissen beteiligt sich daran, wobei durch die Vereinigung des Bulbusseptums mit dem Interventrikularseptum die Pulmonalis dem rechten, die Aorta dem linken Ventrikel zugewiesen wird.

Neuere Untersuchungen von *Sato* lassen allerdings die Beteiligung des Bulbusseptums an dem Verschluß des Foramen interventriculare weniger sicher erscheinen; vielmehr soll nach *Sato* die Schließung des Foramen interventriculare allein durch Wachstum der rechten Enden der centralen Endothelkissen zu stande kommen. Diese zwar an Tierembryonen (Kaninchen) gewonnenen Beobachtungen finden in den Herzmißbildungen eine gewisse Bestätigung, wo wir ein offenes Foramen interventriculare bei wohl ausgebildetem Bulbusseptum beobachten können.

Fig. 34



Herz eines menschlichen Embryo von 310 mm Länge. (Nach *Tandler*, Anatomie des Herzens, Fig. 23.) *C. i.* Vena cava inferior; *C. s.* Vena cava superior; *Cr. t.* Crista terminalis; *O. v. d.* Ostium venosum dextrum; *S. I* Septum primum; *S. II* Septum secundum; *S. c.* Sinus coronarius; *V. E.* Valvula Eustachii; *V. Th.* Valvula Thebesii.

Der Abschnitt des Verschlußstückes, welcher von der rechten Hälfte der centralen Endokardkissen (dem Stück zwischen Ansatz des Vorhofseptums in der Mitte und des Ventrikelseptums am rechten Ende) gebildet wird, scheidet naturgemäß rechten Vorhof von linkem Ventrikel, die an dieser circumscribten Stelle im Bereiche der Aortenausflußbahn benachbart sind und auch bleiben. Das unmittelbar unter dem Septum atrioventriculare gelegene verschlossene Foramen interventriculare bleibt beim Menschen als fibröser Abschnitt, als *Pars membranacea* bestehen.

Es ist nun noch der endgültige Ausbau der Vorhöfe zu besprechen (s. Fig. 34). Durch völliges Verwachsen des Septum primum mit den centralen Endokardkissen des Auricularkanals hat sich das Foramen ovale I geschlossen,

und gleichzeitig ist, wie erwähnt, oben im Septum das Foramen ovale II entstanden, an welchem das Septum II rechterseits derart vorbeiwächst, daß es mit seinem konkaven Rande nach hinten unten sieht. An der hinteren Umrandung des endgültigen Foramen ovale beteiligt sich auch die linke Sinusklappe, welche sich unter völliger Rückbildung der Scheidewand anlegt und später als Limbus Vieusseni angedeutet bleibt. Der Sinus venosus als solcher ist im übrigen immer mehr in den rechten Vorhof einbezogen, in welchem er durch Ablachung seiner Wand völlig aufgeht. Das linke Sinushorn obliteriert, das rechte Sinushorn und der benachbarte Abschnitt des Sinusquerstückes bleiben als Vena cava superior und Sinus coronarius erhalten. Die rechte Sinusklappe bildet sich in ihrer oberen Hälfte zurück; der untere Abschnitt wird durch das sog. Sinusseptum, welches sich aus dem Winkelsporn zwischen rechtem Sinushorn und Sinusquerstück in der gemeinsamen Mündung entwickelt und am ausgewachsenen Herzen noch als Sinusstreifen angedeutet ist, in zwei Hälften geteilt, von denen die obere als Valvula Eustachii die Mündung der Cava inferior, die untere Hälfte den Sinus coronarius als Valvula Thebesii begrenzt. Daß die Mündung der Coronarvene durch sekundären Einbruch entsteht, wie *His* es angibt, ist unwahrscheinlich. Auf diese Weise werden von den Sinusklappen bzw. ihren Resten im ausgebildeten Herzen die Mündungen der drei venösen Zuflüsse des rechten Vorhofes eingerahmt, nämlich die Mündung der Vena cava superior (rechter Ductus Cuvieri bzw. rechtes Sinushorn), die Vena cava inferior (Lebernerven) und die Vena coronaria (Sinusquerstück bzw. linker Ductus Cuvieri).

Die von der Lunge herkommende Vene mündet ursprünglich als einzelner Ast dicht neben dem Vorhofseptum in den linken Vorhof. Später wird durch Ausstülpung des linken Vorhofes der proximale Lungenvenenabschnitt mit in den Vorhof einbezogen, wo er als glatter Abschnitt als Vestibulum noch am ausgebildeten Herzen zu erkennen ist.

Entwicklungsgeschichte der spezifischen Muskelsysteme.

A. Sinusknoten.

Über die embryonale Entwicklung des Sinusknotens liegen bisher keine Angaben vor. Da mir selbst kein Material embryonaler Herzen aus den ersten beiden Lebensmonaten zur Verfügung stand, seien in folgendem nur einige Bemerkungen über das Verhalten des Sinusknotens im 3. bis 5. embryonalen Lebensmonat angeführt.

Wie an anderer Stelle schon erwähnt, ist der Sinusknoten im embryonalen Herzen relativ größer als im ausgewachsenen Herzen. Er liegt mit seinem Hauptabschnitt, dem Kopfteil, an der typischen Stelle des Sulcus terminalis der Crista terminalis angelagert. Auch sein centraler Arterienast läßt sich zu diesem Zeitpunkt schon regelmäßig verfolgen. Bei Betrachtung von nach *van Gieson* gefärbten Schnitten mit schwächerem Linsensystem fällt er durch dichtere Anordnung des Gewebes auf. Diese Kompaktheit in der histologischen Struktur

ist auf den Reichtum an Bindegewebe zurückzuführen, der ja auch im extrauterinen Leben typisch bleibt. Da aber das jugendliche Bindegewebe noch nicht die intensive Rotfärbung aufweist, wie es bei dieser Färbemethode am Sinusknoten des postfötalen Lebens zu beobachten ist, ist eine Abgrenzung des Sinusknotens gegen seine Umgebung sehr viel schwieriger. Die Differenzierung der Sinusknotenmuskelfasern gegenüber den gewöhnlichen Vorhofsfasern ist ebenfalls dadurch erschwert, daß die gewöhnlichen Vorhofsfasern embryonalen Typus aufweisen und auf Querschnitten röhrenförmige Struktur mit Randstellung der Fibrillen zeigen. Ein gewisser Unterschied scheint aber in der Richtung zu bestehen, daß die embryonalen Sinusknotenmuskelfasern anscheinend weniger und zierlichere Fibrillen führen. Eine Nachuntersuchung an besser fixiertem Material als es mir zur Verfügung stand ist aber noch notwendig. Das jugendliche Bindegewebe des Sinusknotens zeigt verhältnismäßig große Kerne und breitere saftreichere Fasern, als wir es im postfötalen Leben finden. Der Sinusknoten breitet sich auf Querschnitten durch den Sulcus in etwa dreieckiger Form (Kopfteil), auf der Crista terminalis reitend, am Einmündungsgebiet der Vena cava superior aus. Bei dem Herzen aus dem 3. Lebensmonat nimmt er fast die ganze Dicke der Venenwandung zwischen Perikard und Endokard ein. Im Herzen aus dem 5. Monat sieht man endokardialwärts schon in schmalen Saum Muskelfasern, die mehr den gewöhnlichen Vorhofsfasern ähneln, aufwärts ziehen und die Verbindung mit oberhalb des Sinusknotens gelegener gewöhnlicher Vorhofsmuskulatur des Cavatrichters vermitteln. Nach abwärts, im Sulcus entlang, sind die unteren Ausläufer bzw. vorher der Stamm zunächst noch einigermaßen deutlich, in den feineren Ausläufern jedoch nicht mehr mit genügender Sicherheit zu differenzieren. Es läßt sich aber auch hier wieder feststellen, daß der Sinusknoten, je weiter er nach abwärts kommt, sich immer mehr endokardialwärts wendet und in seinen Ausläufern, in den mir vorliegenden Präparaten von dem Herzen aus dem 5. Monat, zu einer Endokardfalte in Beziehung gebracht werden kann, welche als Rest der rechten Sinusklappe, wie sich aus Serienschnitten ergibt, angesprochen werden muß.

Die Beziehungen zu den Sinusklappen sind nun viel ausgesprochener in dem Herzen aus dem 3. Monat (s. Fig. 35). Hier sieht man an der Einmündungsstelle der Vene in den Vorhof zwei noch relativ große, schmale, zungenförmige Klappen in den Vorhof sich öffnen. Die rechte Sinusklappe bildet dabei ein etwa 3—4fach so langes schmales Klappengebilde, als die linke Sinusklappe, welche mehr einen zungenförmigen abgerundeten Kegel darstellt. Beide Klappen zeigen Muskelfasern, die mit denen des Sinusknotens zu korrespondieren scheinen. Es zeigt sich weiterhin, daß der Sinusknoten mit seinem inneren, der Crista terminalis anliegenden Winkel sich direkt in die rechte Sinusklappe fortsetzt und daß anscheinend auch noch die benachbarten Abschnitte der Crista terminalis den Sinusknotenelementen histologisch nahestehen. Es ist, wie gesagt, mir an meinem Material nicht möglich gewesen, die Abgrenzungen gegen die gewöhnliche Vorhofsmuskulatur ganz scharf

durchzuführen, aber der Gesamteindruck ist der vorerwähnte. Aber noch wichtiger erscheint mir, daß auch die Basis der linken Sinusklappe an der medialen, dem linken Vorhof benachbarten Wand, einen der Struktur der rechtsseitigen Sinusknotenabschnitte durchaus ähnelnden Bau erkennen läßt, so daß man den Eindruck hat, als wenn sich hier noch, ähnlich wie beim Herzen niederer Tiere, ein an der Vorder- und Hinterseite unterbrochener Ring spezifischer Muskulatur befände, der in die Sinusklappen direkt sich fortsetzt. Auch die linksseitigen spezifischen Elemente zeigen einen Arterienast, welcher leicht exzentrisch nach hinten gelegen ist und wahrscheinlich dem medialen aufsteigenden Ast des *Circulus arteriosus sinoauricularis* entspricht. Eine Vereinigung der rechts- und linksseitigen Sinusknotenelemente auf dem Wege der hinteren Wand der Vena cava superior habe ich nicht feststellen können, vielmehr sieht man die Wand hier teils als rein bindegewebige Wand, teils lassen sich in ihr Muskelfasern beobachten, welche den gewöhnlichen Vorhofmuskelfasern gleichen und zur Cavatrichtermuskulatur hinzuzurechnen sind. Diese Befunde, die sich in unsere Anschauungen von der Lokalisation der spezifischen Muskelsysteme, den Beziehungen zu den Herzklappen und den Befunden aus der vergleichenden Anatomie gut einfügen, verdienen jedenfalls sorgfältigste Weiterprüfung.

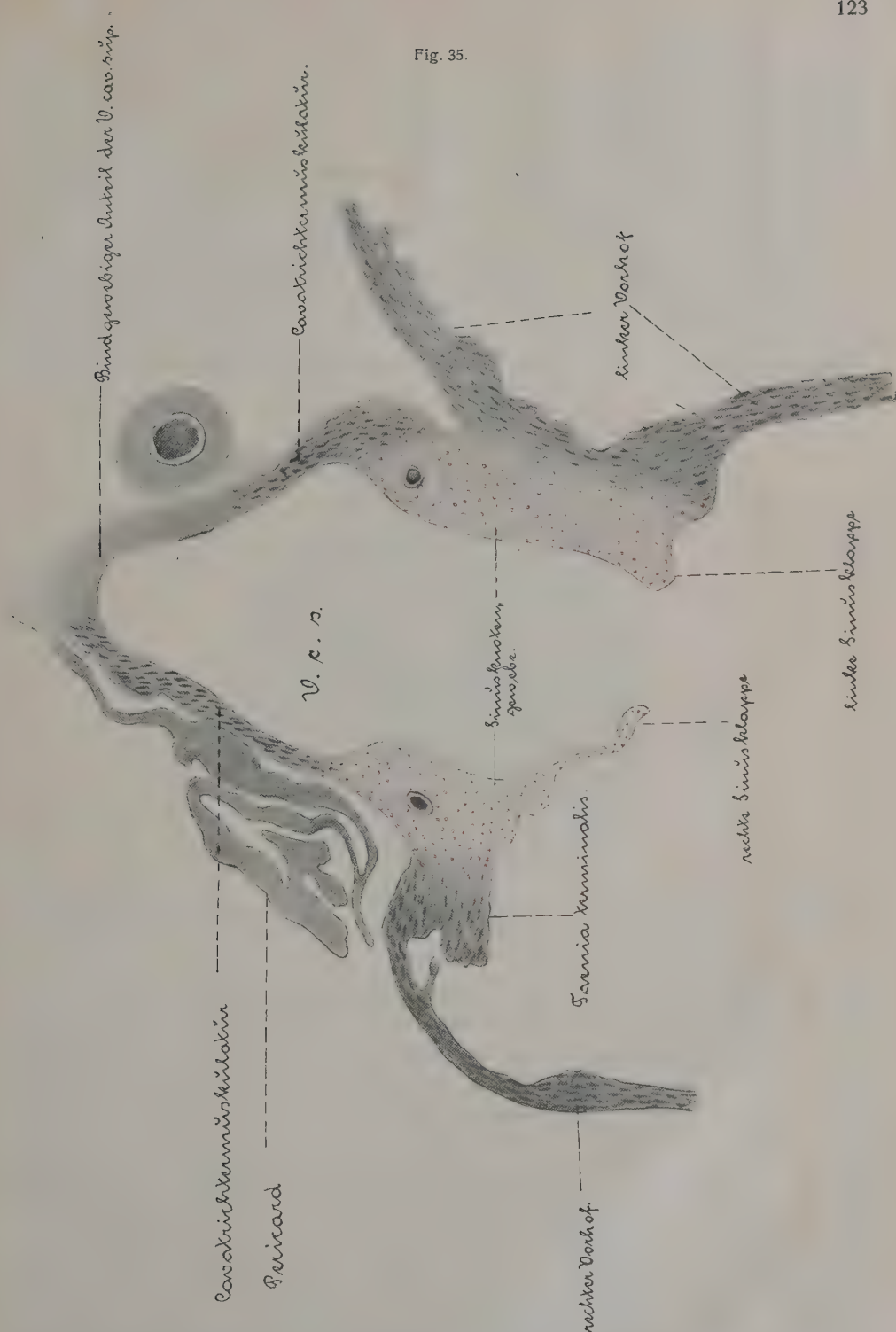
B. Reizleitungssystem.

Auch betreffs des Reizleitungssystems waren die entwicklungsgeschichtlichen Untersuchungen in bezug auf die ersten Stadien des embryonalen Herzens bisher noch sehr spärlich. Diese Lücke hat *Mall* in sorgfältigsten Untersuchungen ausgefüllt, und ich beziehe mich wesentlich auf seine Angaben, zumal mir die Erklärung, welche er wie *Keith* für die Entstehung des Vorhofsventrikelbündels gibt, als die bestfundierte erscheint. Die einschlägigen Bemerkungen von *Tawara*, *Mönckeberg*, *Fahr*, *Retzer* und *Tandler*, welche sich vorwiegend auf spätere Entwicklungsstadien oder Tierherzen beziehen, sollen dabei weiterhin Berücksichtigung finden.

Zu einer Zeit, in welcher Vorhof und Ventrikel noch überall muskulär verbunden sind, läßt sich an der Hinterwand des Auricularkanals zwischen hinterem Endothelkissen und dem Bindegewebe des in Bildung begriffenen Annulus fibrosus ein Muskelzug erkennen, der vom Sinus venosus zum Ventrikel reicht und die erste Anlage des Reizleitungssystems derstellt. *Mall* konnte denselben schon bei einem Embryo von 7 mm beobachten. Mit der Entwicklung der lateralen Endokardkissen erfährt die circuläre Muskelverbindung des Auricularkanals zwischen Vorhof und Ventrikel eine Unterbrechung (Embryo von 11 mm Länge), für gewöhnlich erst links, dann rechterseits.

Weiterhin treten an mehreren Stellen Unterbrechungen des Auricularkanals auf. Es finden sich zwar bei Embryonen jüngeren Stadiums (so bei Embryonen von 12·5, 14—20 mm) oftmals noch verbindende Muskelzüge, besonders rechterseits, aber die hauptsächlichste und schließlich einzige Verbindung bildet der vorerwähnte Muskelzug an der dorsalen Herzseite,

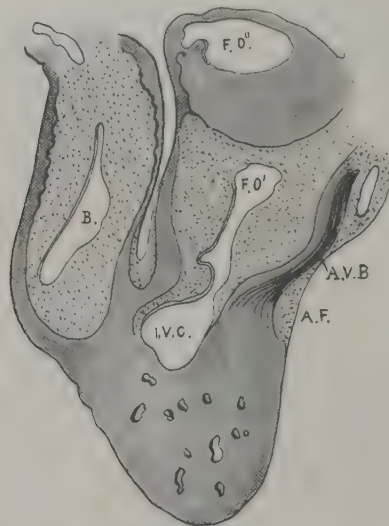
Fig. 35.



Specifics Sinusknotengewebe im Bereiche der rechten und linken Sinusklappe aus dem Herzen eines menschlichen Embryo von 105 mm Länge.

welcher vom Sinus zum Septum ventriculorum reicht (s. Fig. 36). Dieser Muskelzug ist zuerst verhältnismäßig breit und zieht vorwiegend zur linken Ventrikelhälfte. Allmählich aber wird er immer mehr eingeschränkt und bildet beim Embryo von 20 *mm* einen isolierten, mehr rundlichen Strang. An dieser Reduktion ist aber nicht allein die Entwicklung der Atrioventrikularklappen beteiligt, sondern ebenso die Bildung des Annulus fibrosus und das Verschmelzen des Bindegewebes, welches im Annulus von außen eindringt, mit dem Bindegewebe der Klappen. Das Artrioventrikularbündel entspringt, wie gesagt, im Vorhof in der Nähe des Sinus mit zwei Ausläufern, in welche die Vorhofmuskulatur einstrahlt. Es begibt sich an der Rückseite des Herzens, hinter dem hinteren medialen Endokardkissen bzw. hinter der medialen

Fig. 36.



Atrioventrikularbündel im Herzen eines Embryo von 8 *mm* Länge. (Nach Mall.) F.O. Foramen ovale II; F.O. Foramen ovale I; B. Bulbus; I.V.C. Interventrikularkanal; A.F. Annulus fibrosus; A.V.B. Atrioventrikularbündel.

Tricuspidalklappe späterer Entwicklungsstadien zum Septum ventriculorum, bei welchem es den oberen hinteren Rand des Foramen interventriculare bildet, während man es in entsprechend älteren Herzen hinter und unterhalb der Pars membranacea findet. Die Schenkelteilung (s. Fig. 37) ist bei Embryonen von 13 *mm* Länge schon ausgesprochen und geht Hand in Hand mit der Entwicklung des Kammerseptums.

Beim Foetus von 7.5 und 10 *cm* Länge fand Mönckeberg bereits ein typisches Muskelbündel, welches vom Vorhof ausgehend, durch den Annulus fibrosus hindurch unterhalb des Septum membranaceum an der Ventrikularmuskulatur nach vorn zieht.

Über den feineren histologischen Aufbau des Atrioventrikularsystems ist mehrfach berichtet worden. Mall gibt eine Abbildung desselben bei einem Embryo von 10 *mm* wieder, wo man das Atrioventrikularbündel in Gestalt eines

kernreichen, durch seine dunklere Färbung auffallenden Zellstreifens erkennen kann. *Malls* histologische Bilder vom Atrioventrikulärbündel eines Embryo von 11 bzw. 21 *mm* Länge zeigen ebenfalls den Kernreichtum und die dunklere Färbung und lassen außerdem die von ihm erwähnten Lymphspalten erkennen, welche das Atrioventrikularsystem von der umgebenden Muskulatur bzw. Bindegewebe isolieren, so daß bei weniger hervortretenden Farbunterschieden das Bündel hieran zu erkennen ist. Nach *Tawara* ist in 10 bis 11 Wochen alten Embryonalherzen der Vorhofsabschnitt des Reizleitungssystems an seinen auffallend blassen, großen Zellen zu erkennen, in welchen die fibrilläre Struktur gerade angedeutet ist, während die Vorhofsmuskulatur schon längere Muskelfasern aufweist. Auch im Embryo von 17 Wochen ist der Unterschied gegen-

Fig. 37.



Kammerschenkel des Atrioventrikulärbündels auf dem primitiven Kammerseptum im Herzen eines Embryo von 13 *mm* Länge. (Nach *Mall.*) R. O. Rechtes venöses Ostium; I. V. C. Interventrikularkanal; A. V. B. Atrioventrikulärbündel.

über der gewöhnlichen Herzmuskulatur sowohl im Vorhofsabschnitt wie in den Schenkeln noch ein auffallender. *Mönckeberg* bestätigt im wesentlichen diese Befunde und sagt, daß im Beginn des 5. Embryonalmonates das Atrioventrikulärbündel sich vorwiegend aus einzelnen, aneinandergereihten Zellen zusammensetzt, welche durch spärliche Fibrillen miteinander verbunden sind. *Fahr* konnte bei Föten von 3 und 6 *cm* Länge das Atrioventrikulärbündel noch nicht sicher differenzieren, fand aber bei größeren Föten von 16 *cm* an den Verlauf korrespondierend dem im Herzen des Erwachsenen, allerdings mit der Einschränkung, daß bei dem Foetus von 16 *cm* noch keine sichere Teilung der Schenkel beobachtet werden konnte. Im übrigen gibt er an, daß beim Foetus das Bündel verhältnismäßig sehr viel umfangreicher sei als beim Erwachsenen. *Retzer* glaubt aus seinen entwicklungsgeschichtlichen Studien an embryonalen Schweinherzen entnehmen zu müssen, daß das Atrioventrikularsystem nicht als

Rest des Auricularkanales anzusehen ist, sondern als ein neuentstehendes Gebilde, welches vom Sinus aus in das Septum intermedium und abwärts in die Ventrikel wächst, so daß das Atrioventrikularsystem aus Sinusmuskulatur hervorgehen würde. Die ersten Anfänge dieser Entwicklung sah er in Herzen von 15 mm Länge, bei 20 mm Länge zeigte sich schon ein deutlicher spezifischer Muskelstrang und in etwas späteren Stadien konnte er bereits die Schenkeltteilung beobachten. Dieser Erklärung *Retzers*, daß wir in dem Atrioventrikularsystem ein vom Sinus aus einwachsendes neues Gebilde sehen müssen, möchte ich mich nicht anschließen, sondern ich halte die von *Mall*, *Keith* und *Mackenzie*, *Aschoff* u. a. gegebene Deutung, daß wir die Entwicklung des Atrioventrikularsystems auf Reduktion der Auricularmuskulatur zurückzuführen haben, für besser gestützt, wie ich auch die *Mönckeberg*sche Auffassung eines aktiven Auswachsens der Schenkel in die Ventrikel gemäß meinen im VII. Abschnitt gegebenen Ausführungen für unwahrscheinlich ansehe.

Die spezifische an epithelialen Aufbau erinnernde Struktur des Atrioventrikulärbündels ist nach *Mall* besonders gut bei Tierembryonen, so beim Schwein und Schaf, zu erkennen. Weiterhin macht er auf einen bemerkenswerten Befund aufmerksam. Im Embryo von 20 mm Länge kann man die Nerven von der Vorhofsscheidewand aus in das Bündel eintreten sehen. Während es bis zu dieser Zeit, wie erwähnt, oftmals nur an der durch die umgebenden Lymphräume bewirkten Abscheidung zu erkennen ist, läßt sich von dem Zeitpunkt des Nerveneintritts an die Differenzierung der Muskelfasern zu solchen vom Typus der *Purkinjeschen* Fasern beobachten, die sich an der mehr epithelialen Struktur der Kammerausbreitungen, welche rechterseits bei Embryonen von 50 mm Länge schon bis in das Moderatorband verfolgt werden können, erkennen läßt. *Mall* glaubt auf das zeitliche Zusammentreffen des Nerveneintritts und der Ausbildung der *Purkinjeschen* Fasern besonders hinweisen zu müssen, weil er es nicht für ausgeschlossen hält, daß die Differenzierung des *Purkinjeschen* Fasersystems eine Folge des Nerveneintritts sein könnte.

Wenn somit die Entwicklung des Hauptsystems sich aus der allmählichen Reduktion des Auricularkanales erklären läßt, und der Grund, daß gerade der Teil, welcher hinter dem hinteren medialen Endokardkissen gelegen ist, erhalten bleibt, nach *J. Mackenzies* Ansicht durch die Lage des Bündels auf der Kuppe des muskulären Kammerseptums zu deuten ist, da an dieser Stelle keine fibröse Klappenentwicklung stattfindet, so ist die Erklärung für die Zweiteilung des Bündels und die Entstehung der Verzweigungen auf den besonderen Mechanismus bei der Entstehung der Ventrikel und der Ventrikelscheidewand zurückzuführen, wie ich es in den vorhergehenden Kapiteln auseinander-gesetzt habe.

Wir haben somit im ausgewachsenen Herzen in dem Reizleitungssystem den konservativen Rest des embryonalen Herzschauches in der Gestalt, daß wir an ihm noch die Stelle des ursprünglichen Auricularkanales erkennen können. Diese fällt am ausgewachsenen Herzen nicht mit der Atrioventrikular-

grenze zusammen, sondern liegt an der Grenze von Vorhofs- und Kammerabschnitt des *Aschoff-Tawaraschen* Knotens im Bereiche des rechten Vorhofes, was bei der Beschreibung des Atrioventrikularsystems schon berücksichtigt wurde. Diese Verlagerung ist, wie erwähnt, im wesentlichen auf die Einstülpung des Vorhofs in die Ventrikel und die Ausstülpung der Ventrikel zu beiden Seiten des Septums sowie auf die Bildung der Klappenapparate zurückzuführen, wobei das Atrioventrikularsystem wegen seiner centralen gespannten Lage sich nicht an der Verschiebung beteiligt, sondern seine ursprüngliche Anordnung beibehält.

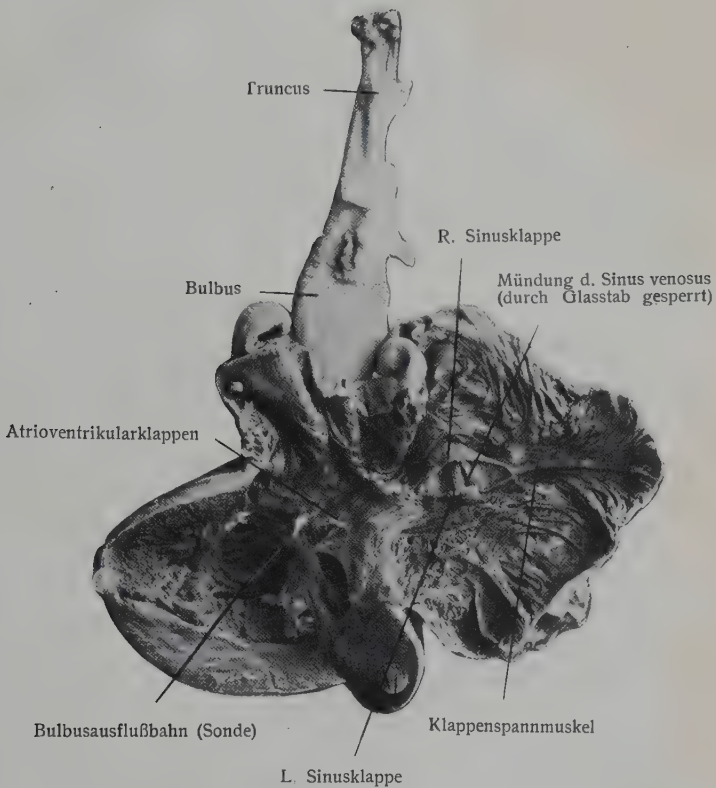
Auf Grund eigener Untersuchungen an fötalen Herzen weise ich noch auf folgendes hin. Wie schon erwähnt worden ist, nehmen die Abschnitte des Reizleitungssystems, je jünger das Herz ist, einen verhältnismäßig um so größeren Herzabschnitt ein. Ich habe schon im vorhergehenden darauf hingewiesen, daß das Gewebe des Reizleitungssystems die ganze Kuppe der Ventrikelscheidewand beherrschen kann. Diese Größenverhältnisse sind verständlich, wenn man berücksichtigt, daß sich das System aus den Wandabschnitten des Auricularkanales, welcher die ganze Herzschlauchcircumferenz darstellt, erst allmählich reduziert. Im Herzen eines Foetus aus dem Anfang des 5. Lebensmonates sind die Verhältnisse sehr gut zu überblicken, weil einerseits die wesentlichste Gestaltung des Herzens abgeschlossen ist, anderseits das System histologisch in seinen Hauptabschnitten sich besonders gut und schon durch Scheiden abgesondert von der Triebmuskulatur des Herzens absondern läßt und noch verhältnismäßig große Abmessungen zeigt. Die Teilungsstelle des Bündels ist dabei als dachreiterartiges Gebilde in großen Abmessungen auf der Ventrikelscheidewandspitze zu erkennen. Der linke Schenkel ist weit nach abwärts in den linken Ventrikel zu verfolgen, der rechte Schenkel bildet in seinem intermuskulären Verlauf einen relativ sehr viel mächtigeren Muskelstrang als wie man ihn im extrauterinen Leben zu sehen gewohnt ist. Der Stamm des Bündels ruht ausgesprochen in der Basis der Tricuspidalklappe und nimmt zwei Drittel der Ausdehnung des Septum fibrosum ein. Sehr groß sind auch die Abmessungen des *Aschoff-Tawaraschen* Knotens, besonders groß ist die Ausdehnung, kurz ehe der Stamm sich ins Septum fibrosum senkt. Man sieht alsdann den ganzen basalen Abschnitt der Vorhofscheidewand auf Frontalschnitten durch spezifisches Gewebe eingenommen. Was mir besonders aufgefallen ist, ist, daß hier die direkten Beziehungen zu den venösen Kammerklappen sehr viel mehr in die Augen springen als wie am Herzen des Erwachsenen. Von der Basis der Tricuspidalklappe schräg am Septum fibrosum nach links zur Basis der Mitralklappe sich hinziehend, ist durchweg typisches spezifisches Muskelgewebe zu beobachten, und gerade am Ansatz des Mitralsegels kann man knotenförmig angeordnete spezifische Muskelfasern, die von in der Nachbarschaft liegenden gewöhnlichen Vorhofsfasern zu unterscheiden sind, liegen sehen, wobei sogar eine Vorwölbung dieser Muskelbündel in den linken Vorhof zu beobachten ist. Nach oben gegen die Fovea ovalis zu laufen die spezifischen Muskelfasern in breiten, Y-förmig sich teilenden Zügen aus.

IX. Vergleichende Anatomie des Herzens und der spezifischen Muskelsysteme.

Vergleichende Anatomie des Herzens.

Wenn Röse seine Abhandlung über die vergleichende Anatomie des Herzens der Wirbeltiere, die neben Hochstetters „Entwicklung des Blutgefäßsystems“ den folgenden Ausführungen als wesentliche Grundlage dient, mit den Worten schließt: „Die ontogenetische Entwicklung ist ein kurzer Abschnitt der phylogenetischen“, so trifft das wohl für das Herz in ganz besonderem Maße zu. Während wir bei den Fischen noch den einfach gewundenen, in mehr oder weniger scharf gesonderte Abschnitte zerfallenden Herzschauch haben, wie er nach Tandler etwa dem eines menschlichen Embryo von 2·5 bis 3 mm Länge entspricht, sehen wir bereits bei den Doppelatmern und weiter bei den Amphibien mit dem Einschluß des Lungenkreislaufes eine beginnende Trennung des Vorhofes durch Bildung eines Septums, welches beim menschlichen Embryo von 4·7 mm schon in Ausbildung begriffen ist. Von den Reptilien an und bei den Vögeln und Säugetieren, bei welchen die Vorhofstrennung eine vollständige ist, tritt auch eine Unterteilung der bisher einfachen Kammerhöhle ein, die am menschlichen Embryo von 9 mm schon zu erkennen ist. Zwar ist die zunehmende Differenzierung der Wirbeltierherzen keine systematisch aufgebaute in den nachgeordneten Wirbeltierklassen, sondern entsprechend der Anpassung an die gegebenen Lebensbedingungen und die Aufgaben, die das Herz des einzelnen Tieres zu erfüllen hat, ist bald im einen, bald im anderen Abschnitt das Herz mehr oder weniger differenziert oder für seinen besonderen Zweck ausgebaut. Auch sind ja, wie bekannt, die erwähnten Wirbeltierklassen nicht alle als direkte Glieder der Entwicklungsreihe anzusehen; aber im großen und ganzen lassen sich doch die einzelnen Phasen der Entwicklung des menschlichen Herzens im Bau der Wirbeltierherzen wieder erkennen. Da gerade die vergleichende Anatomie, besonders die Entwicklung und Rückbildung des Sinus venosus für das Verständnis des menschlichen Herzens von hoher Bedeutung ist, sei auf wichtigere Einzelheiten noch näher eingegangen.

Bei den Fischen — das Herz des *Amphioxus* steht entwicklungsgeschichtlich noch sehr weit zurück, so daß es hier nicht berücksichtigt werden soll — haben wir 4 Herzabschnitte, die wir in der Wirbeltierreihe aufwärts bis zum Menschen einschließlich immer wieder finden können, den Sinus venosus, den Vorhof, Ventrikel und Bulbus (s. Tafel XIV). In den Sinus des rein venösen Herzens münden die großen Körpervenen, die Ductus Cuvieri, bei Selachiern und Teleostiern auch die Lebervenen. Der scharf abgegrenzte Sinus ist vom Vorhof durch die Sinusklappen getrennt, welche die meist spaltförmige Mündung zu beiden Seiten einrahmen. An der Grenze von Vorhof und Ventrikel findet sich eine stärkere Einschnürung, der Ohrkanal, in welchem sich aus zwei ursprünglich angelegten kranialen und kaudalen



Herz vom Fisch. Vorhof und Ventrikel eröffnet. Man sieht in dem gemeinsamen Vorhof die Sinusklappen (durch Glasstab gesperrt) und vom oberen Klappenwinkel den Röschen Spannmuskel am Vorhofdach entlang ziehen. Im Auricularkanal Atrioventrikularklappen angedeutet. Die Sonde in dem gemeinsamen muskulösen Ventrikel führt in die Bulbus-Ausflußbahn.

Endothelkissen 2—5 Taschenklappen entwickeln, an denen sich bei den *Ganoiden* schon Andeutungen von Papillarmuskeln nachweisen lassen.

Der von der Ventrikelmuskulatur umgebene Bulbusabschnitt ist nicht bei allen Fischen gut ausgebildet, da er durch Einbeziehung in den Ventrikel mehr oder weniger als solcher verschwindet. Man findet in ihm übereinandergeordnete taschenklappenartige Gebilde, die aus Endokardwülsten, den sogenannten Bulbuswülsten, entstanden sind.

Bei den an der Grenze von Fischen und Amphibien stehenden *Dipnoern* macht sich das Auftreten der Lungenatmung am Herzen insofern geltend, als durch die erste Anlage eines Vorhofseptums die Scheidung von Lungen- und Körperkreislauf angedeutet ist, wenn auch, was hier nicht weiter erörtert werden soll, die wirkliche Trennung der Blutsäulen vorzugsweise durch andere klappenartige Gebilde bewirkt wird. Das Septum stellt eine noch relativ niedrige, vielfach durchlöchernte, trabeculäre gratartige Leiste dar, welche aber noch eine weite Kommunikation der beiden Vorhofabteilungen freiläßt. Wie bei allen Wirbeltieren mündet schon hier die Lungenvene links vom Vorhofseptum, also in den späteren linken Vorhof, der Sinus venosus dagegen ausschließlich in den rechten Vorhofsabschnitt. Schon bei den *Knorpelfischen* finden wir eine gewisse Vorstufe des Lungenkreislaufes, in dem die in einen gemeinsamen Stamm auslaufenden Schwimmblasenvenen dicht vor dem Sinus venosus in den linken Ductus Cuvieri einmünden.

Eine fast völlige Trennung der beiden Vorhöfe finden wir bei den Amphibien (s. Tafel XV, Fig. 1). Das Septum atriorum als trabeculäres, muskulöses Flechtwerk überspannt dabei bogenförmig das Ostium atrioventriculare, an dem dadurch auch schon eine Zweiteilung angedeutet ist. Die Maschen der Trabekel sind mit endokardialen Häutchen ausgefüllt, welche aber nicht alle Lücken verschließen, so daß durch die freigebliebenen eine Kommunikation zwischen linker und rechter Vorhofseite besteht. Aber schon bei den *Batrachiern* sind auch diese Lücken verschwunden, indem die endokardiale Membran das Septum vollständig bekleidet. Nur dicht über dem Ostium atrioventriculare bleibt eine dauernde Verbindung bestehen. Das Septum entwickelt sich wie beim Menschen ebenfalls vom Dach der Vorkammer an der Stelle, wo dieselbe durch den aufliegenden Bulbus vorgebuchtet wird. Der Sinus venosus mündet wie stets ausschließlich in den rechten Vorhof; er ist bei den *Batrachiern* schon weniger scharf von demselben abzugrenzen, da er, wie wir es bei den höheren Wirbeltieren noch weit ausgesprochener finden, zum Teil in den rechten Vorhof miteinbezogen wird; bei den *Urodelen* dagegen ist der Sinus noch völlig vom Vorhof gesondert. Als gemeinsamen Endstamm der Lebervenen sehen wir nunmehr die Vena cava inferior in den Sinus münden. Die Eintrittsstelle des Sinus in den Vorhof ist wiederum von den beiden Sinusklappen umsäumt, welche an ihrer oberen Commissur in den sogenannten Spannmuskel (*Röse*) auslaufen, der dem *Hisschen* Septum spurium des Säugetierherzens entspricht. Die Lungenvenen ergießen sich mit einem einheitlichen Endstamm, der in die Sinuswand eingelassen oder ihr aufgelagert

ist, dicht neben dem Septum atriorum in den linken Vorhof; Klappen weist die Mündung der Lungenvene im Gegensatz zu den Dipnoern schon nicht mehr auf.

Die Atrioventrikularklappen entwickeln sich bei den Amphibien in ähnlicher Weise wie bei den Fischen aus den Endothelkissen des Auricularkanales als durch Aushöhlung vom Ventrikel her entstandene Taschenklappen; nur sehen wir, daß einzelne von der Ventrikelmuskulatur in sie einstrahlende Muskeltrabekel an ihren Enden bindegewebig umgewandelt sind. Der Ventrikel ist wie bei den Fischen mit einem schwammigen, einzelne größere Räume bildenden Trabekelwerk ausgefüllt und enthält noch keine Kammerscheidewand. Im Bulbus entwickelt sich aus drei proximalen und vier distalen, bei der Vereinigung spiralig verlaufenden Bulbuswülsten die gleiche Anzahl von Taschenklappen. Die Trennung in zwei arterielle Ausflußbahnen ist, wie bei den Dipnoern durch diese Spiralfalten schon angedeutet.

Bei den Reptilien ist die Einbeziehung des Sinus venosus in den rechten Vorhof noch ausgesprochener. Dadurch rücken die zuführenden Venen etwas auseinander, so daß der rechte Ductus Cuvieri von oben, die Cava inferior von unten und der linke Ductus Cuvieri von links unten einmünden, ein Verhalten, welches auf die Anordnung der großen Herzvenen der Säugetierreihe hinweist und noch bezeichnender dadurch wird, daß der linke, durch Rückbildung von zufließenden Venen zurückgebliebene Ductus Cuvieri sich zwischen linken Vorhof und Ventrikel in die Auriculoventrikularfurche einlagert. Die Mündung des Sinus ist wiederum von den beiden Klappen eingesäumt, die in den oberen Spannmuskel auslaufen. Eine für das Verständnis der Anatomie des Menschenherzens wichtige, hier zuerst sich zeigende, wenn auch nur unvollkommene Unterteilung der Sinusmündung verdient hervorgehoben zu werden, das ist die Anlage des Sinusseptums. Dasselbe bildet sich aus dem Sporn, welcher an dem Zusammenfluß vom linken Ductus Cuvieri einerseits, rechtem Ductus Cuvieri und Vena cava inferior andererseits in die Sinusmündung sich einstülpt und schräg von rechts unten nach links oben von der rechten zur linken Sinusklappe verlaufend die größere obere Hälfte des Sinusostiums mit der Einflußbahn vom rechten Ductus Cuvieri und Cava inferior von der Mündung des linken Ductus Cuvieri scheidet. Dieses in der weiteren Entwicklungsreihe viel schärfer ausgebildete Sinusseptum entspricht dem von mir beim Menschenherzen beschriebenen sogenannten Sinusstreifen.

Das Vorhofseptum bildet sich in ähnlicher Weise wie bei den Amphibien. Es scheidet aber die beiden Vorhöfe völlig voneinander, indem es sich mit den verschmolzenen Endokardkissen des Auricularkanales vereinigt. Die Lungenvene mündet wieder als einzelner Stamm in den linken Vorhof. Indem das Endstück sich aber trichterförmig erweitert, wird es in gewissem Sinne schon in den linken Vorhof miteinbezogen. Durch die Vereinigung von Vorhofseptum und Endokardkissen ist das Ostium atrioventriculare in zwei getrennte Ostien geteilt, die in den noch unvollständig geschiedenen Ventrikel einmünden. Aus den zu beiden Seiten des Vorhofseptums gelegenen Abschnitten der Endokard-

wülste des Auricularkanales bilden sich die aus zwei Portionen (entsprechend dem vorderen und hinteren Anteil der Endokardkissen) bestehenden septalen Atrioventrikularklappen, die bei allen Reptilien als rechte und linke Taschenklappe den Abschluß bewirken. Bei den Krokodilen gesellen sich noch laterale aus der seitlichen Ventrikelwand und dem Annulus fibrosus des Auricularkanales gebildete sekundäre Atrioventrikularklappen hinzu (*Röse*).

Die erste Anlage eines die Kammer teilenden Septums finden wir ebenfalls bei den Reptilien, u. zw. in Gestalt einer von *Greil* als Muskelleiste bezeichneten Zusammenlagerung von Trabekeln im unteren und hinteren Kammerabschnitt, die mit den Taschenklappen gegenüber dem Ansatz des Vorhofseptums bindegewebig verwachsen sind. Oberhalb des konkaven Randes dieses primitiven Kammerseptums besteht breite Kommunikation der Ventrikelabschnitte. Eine besondere Stellung nimmt das Krokodilherz ein, in welchem die Kammern völlig geschieden sind, wobei aus der mehr vorn gelegenen rechten kleineren Kammer die Pulmonalis, aus der größeren, hinten gelegenen Kammer zwei Aorten entspringen. Die Ostia venosa münden beide in die hintere Kammer, welche durch eine weitere muskulöse Wanderhebung nochmals geteilt ist. Der rechte Abschnitt der hinteren Kammer bildet zusammen mit der vorderen Kammer funktionell den eigentlichen rechten Ventrikelabschnitt (*Tandler*).

Die Ausbildung und Unterteilung des Bulbusabschnittes geschieht ebenfalls durch Bildung der Bulbuswülste, welche mit dem Septum aortico-pulmonale die großen Schlagadern trennen, wobei die Reptilien insofern eine Besonderheit aufweisen, als durch ein zweites Truncusseptum, das sog. Septum aorticum der Aortenabschnitt nochmals abgeteilt wird.

Wenn bei den Vögeln (s. Tafel XV, Fig. 2) auch die Differenzierung der einzelnen Herzabschnitte der der Reptilien nahesteht, so verdienen doch einige Besonderheiten hervorgehoben zu werden. Die großen Herzvenen münden als Cava superior sinistra und dextra und Cava inferior gemeinsam oder getrennt in den Sinus ein. Letzterer ist fast völlig in den rechten Vorhof einbezogen. Bei vielen Vögeln ist das Sinusseptum besonders ausgebildet, welches die Mündung der Vena cava superior sinistra von der der Cava inferior abtrennt. Nach *Röse* soll aber bei den meisten Vögeln durch ein zweites, höher gelegenes Sinusseptum (welches in seiner Lage etwa dem Tuberculum Loweri im menschlichen Herzen entsprechen würde) auch oftmals die Mündung der Cava superior dextra von der Cava inferior getrennt werden, wodurch die Sonderung der drei Herzvenen eine besonders ausgeprägte wird. Die Sinusklappen sind meist nur in ihrem untersten Abschnitt, u. zw. hauptsächlich rechterseits (als Valvula Eustachii) erhalten.

Die Bildung des Vorhofseptums, welches sekundäre Perforationen aufweist, ähnelt der bei den Reptilien. Die beiden Lungenvenen münden mit gemeinsamen Stamm links vom Septum. Die Kammern sind völlig voneinander durch eine schließlich vollständig muskulöse Scheidewand getrennt. Aus der rechten Kammer entspringt die Pulmonalis, aus der linken die nicht mit der

Pulmonalis kommunizierende Aorta. Die zum Teil aus den Endothelklissen, zum Teil aus den Resten der Wand des Canalis auricularis gebildeten Atrioventrikularklappen zeigen bereits deutlich ausgebildete Papillarmuskeln mit Chordae tendineae, aber nur linkerseits, während rechts nur eine große muskulöse Klappe ohne Sehnenfäden und Papillarmuskeln besteht, die eine Einstülpung der Ventrikulabasis darstellt.

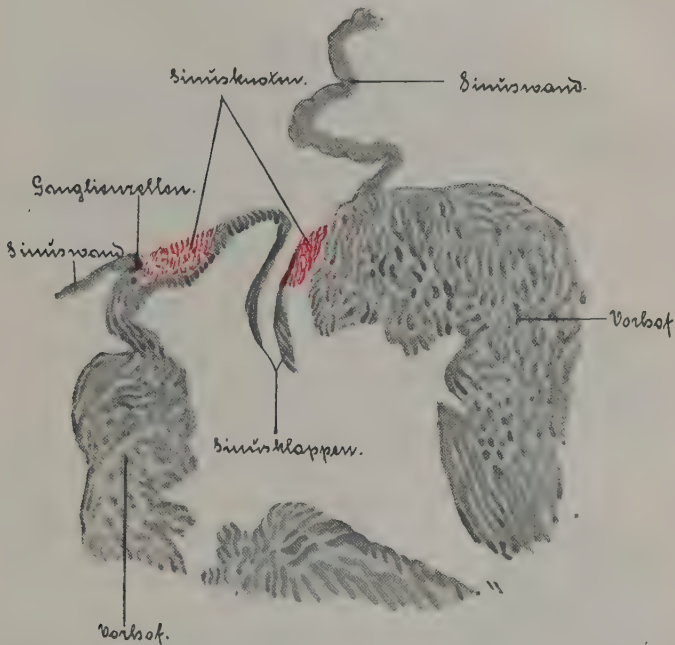
Da die Entwicklung und Ausbildung der einzelnen Herzabschnitte der Säugetiere im wesentlichen der des menschlichen Herzens entspricht, soll sie hier nicht näher besprochen werden. Nur einige Eigentümlichkeiten der in der Reihe der Säugetiere am tiefsten stehenden Mammalia seien hier erwähnt. Wenn auch der Sinus venosus allgemein stark reduziert und in den rechten Vorhof mit einbezogen ist, finden wir doch noch Sinusklappen bei den Monotremen, gemeinsam die Mündung der drei Herzvenen umsäumend. Bei den Edentaten ist im Bereiche der Cava inferior rechte wie linke Sinusklappe noch gut ausgebildet. Bei den übrigen Säugetieren verschwinden (mit wenigen Ausnahmen) die Sinusklappen mehr oder weniger vollständig, nur die Valvula Eustachii bzw. Thebesii können als Rest der rechten Sinusklappe im unteren Abschnitt angedeutet bleiben. Dafür läßt sich rechterseits (von den Marsupialen aufwärts) eine Muskelleiste verfolgen, welche als Begrenzung des Sinusrestes von der oberen zur unteren Hohlvene zieht und der Crista terminalis des menschlichen Herzens entspricht. Weiterhin ist bei einigen Säugetieren durch extrakardialen Verbindungsast zwischen Vena cava superior dextra und sinistra der distale Abschnitt der letzteren obliteriert bis auf den Teil, welcher von der Einmündungsstelle der Herzvenen an (im Sulcus coronarius gelegen) bis in die Coronarvenenmündung reicht und die große gemeinsame Herzvene bildet. Das Septum atriorum der Monotremen und Marsupialen weist noch dieselben Durchlöcherungen auf wie bei Vögeln und Reptilien. Erst bei den Placentaliern sehen wir das Foramen ovale sich bilden, welches für den Placentarkreislauf Vorbedingung ist. Bezüglich des atrioventrikulären Klappenapparates herrschen bei den Säugern dieselben Verhältnisse wie beim Menschen, nur die Monotremen zeigen dabei noch ähnliche Verhältnisse wie wir sie bei den Vögeln gesehen haben. Die Bildung der Kammerscheidewand der großen Herzgefäße bietet nichts Besonderes.

Vergleichende Anatomie der spezifischen Muskelsysteme des Herzens.

Die ersten sicheren Angaben über muskuläre Verbindung zwischen den einzelnen Abschnitten des Herzens gehen auf Gaskell zurück, der im Jahre 1883 am Schildkrötenherzen ringförmig angeordnete, parallelfaserige Muskelzüge beschrieb, welche sowohl an der Sinusvorhofs- als an der Vorhofskammergrenze die Verbindung zwischen diesen Herzbezirken bilden und eine besondere, von der übrigen Herzmuskulatur sich unterscheidende Struktur besitzen sollten. Obwohl auf Grund dieses Befundes und der darauf bezüglichen experimentellen Ergebnisse der große Umschwung in der Theorie der Natur

des Herzschlages einsetzte, dauerte es doch über 20 Jahre, bis die ersten anatomischen Nachprüfungen über diese muskulären Verbindungssysteme am Herzen niederer Wirbeltiere wieder aufgenommen wurden. Erst die letzten Jahre haben durch die Arbeiten von *Keith* und *Flack*, *Ivy Mackenzie*, *Külbs*, *Lange*, *Laurens*, *Mangold* u. a. ausführlichere Beschreibungen der spezifischen Muskelsysteme bei den Herzen der Wirbeltiere gebracht, wenngleich bemerkt werden muß, daß die Angaben der Autoren noch vielfach erheblich voneinander abweichen, so daß eine abgeschlossene Beschreibung noch nicht zu geben ist. Ich selbst stütze mich im wesentlichen auf die Angaben *Ivy*

Fig. 38.



Sinusknoten-Ringmuskulatur (rot) an der Basis der Sinuskappen beim Fisch.

Mackenzies, dessen Präparate den folgenden schematischen Abbildungen als Unterlage dienten.

Bei den Fischen (s. Fig. 38) findet man an der sinoatrialen Grenze einen Ring von fibrillenarmen, kernreichen lockeren Muskelfasern an der Basis der muskulösen Sinuskappen, mit deren innerer Muskelschicht dieselben in Verbindung stehen. Die in den Vorhof hineinschlagenden Klappenenden sind aus gewöhnlicher Muskulatur aufgebaut und stehen, an dem subperikardial gelegenen Sinusknotenring vorbeiziehend, mit der Vorhofmuskulatur in Verbindung. Die aus zwei Schichten bestehenden Muskelbündel der Klappen gehen am freien Klappenende ineinander über. Vom eigentlichen Sinus venosus, welcher vorwiegend bindegewebiger Natur ist, ist die Sinusknoten-Ringmuskelschicht scharf abgesetzt. Beim Aal dagegen wird die sinoauriculäre Ver-

bindung durch stellenweise stärkere Anhäufung von spezifischen Muskelfasern, die auch in der eigentlichen Sinuswand zu erkennen sind, an der Basis der Sinusklappen gebildet.

Nach *Kölbs* wird die Verbindung von Sinus und Vorhof nur durch gewöhnliche quergestreifte Klappenmuskulatur am freien Rande der Klappen bewerk-

Fig. 39.



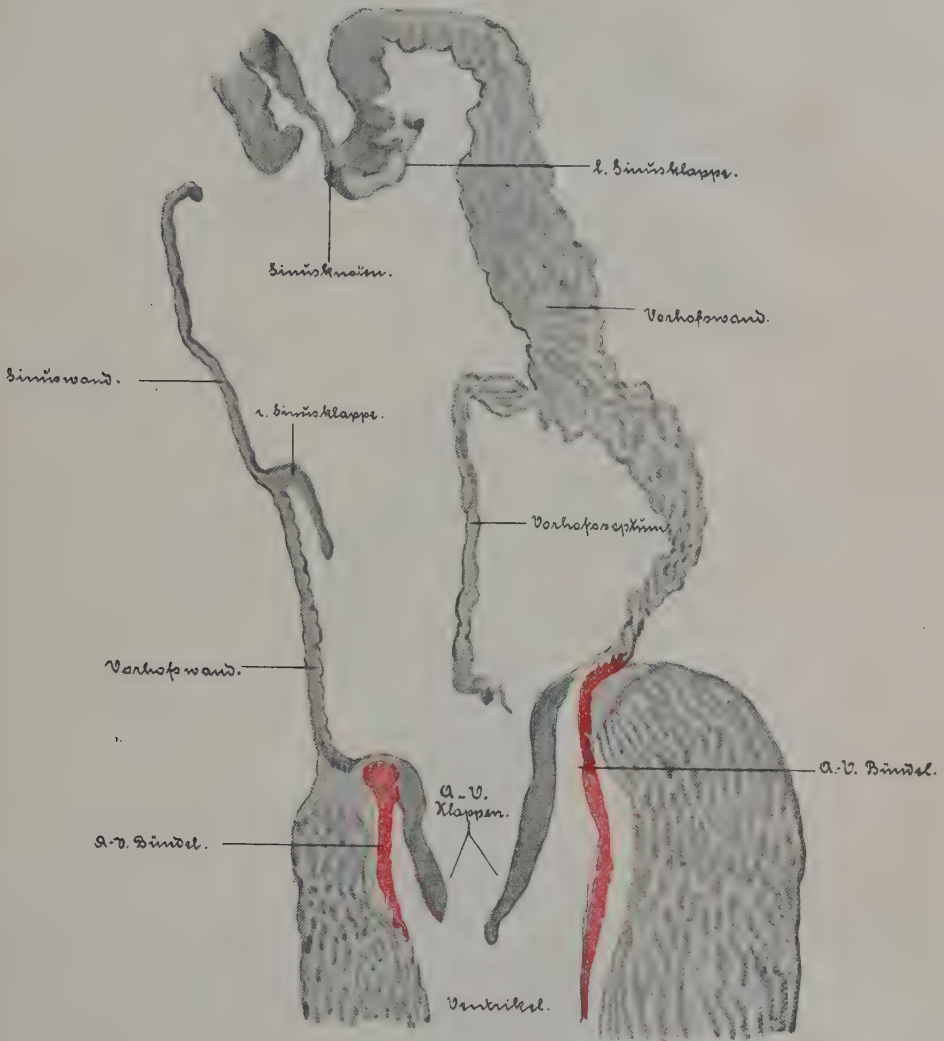
Auriculoventrikulärer Verbindungstrichter beim Fisch.

stellt. Mit der Übergangsmuskulatur stehen in engerer Verbindung die Ausbreitungen der den Ductus Cuvieri folgenden Nerven, und reichlich Ganglienzellen liegen im Bereiche des Ansatzes der Sinusklappen, besonders der rechten.

Die auriculoventrikuläre Verbindung (s. Fig. 39) wird ebenfalls durch einen geschlossenen oder (infolge der Entwicklung fibröser Klappen) teilweise

unterbrochenen Ring blasser, wenig gestreifter Muskelfasern gebildet, welche als Bestandteil des Auricularkanales wie ein Trichter in den Ventrikel eingeschoben sind und, bindegewebig abgescheidet, erst mit ihren Ausläufern mit der Ventrikelmuskulatur in Verbindung treten.

Fig. 40.



Sino-atriale und atrioventrikuläre Muskelverbindung beim Frosch.

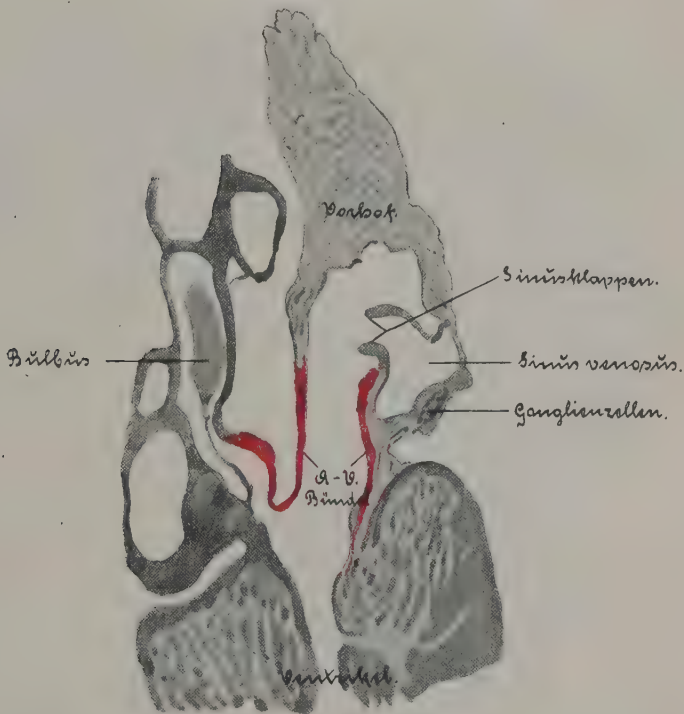
Auch nach *Kölbs* besteht bei den Fischen eine ring- bzw. trichterförmige spezifisch strukturierte Vorhofkammerverbindung. Der Nervenreichtum der auriculoventrikulären Grenzfurche ist zwar ein bedeutender, doch konnten beide Autoren direkte Beziehungen zur Übergangsmuskulatur nicht sicher nachweisen. *Mackenzie* beschreibt ferner beim Kabeljau ein schmales Bündel gewöhnlicher Muskulatur, welches von der rechten Vereinigungsstelle der Sinus-

muskulöse Halbrinnen entstehen, welche vorn unten mit der Bulbusmuskulatur in Verbindung stehen sollen. Auch diese Muskelfasern sind reichlich mit Nervenfasern versorgt.

Bei den Reptilien (s. Fig. 41, Eidechse, Schildkröte) sind die Verhältnisse im wesentlichen dieselben wie bei den Amphibien. Auch bei ihnen finden wir die Hauptmasse der sinoauriculären Verbindungsmuskulatur längs der Anheftungsstelle der linken Sinusklappe.

Bei dem von *Mackenzie* näher beschriebenen Herzen des südamerikanischen Iguana umfaßt die Sinusgrenzmuskulatur den äußeren oberen Winkel der

Fig. 42.



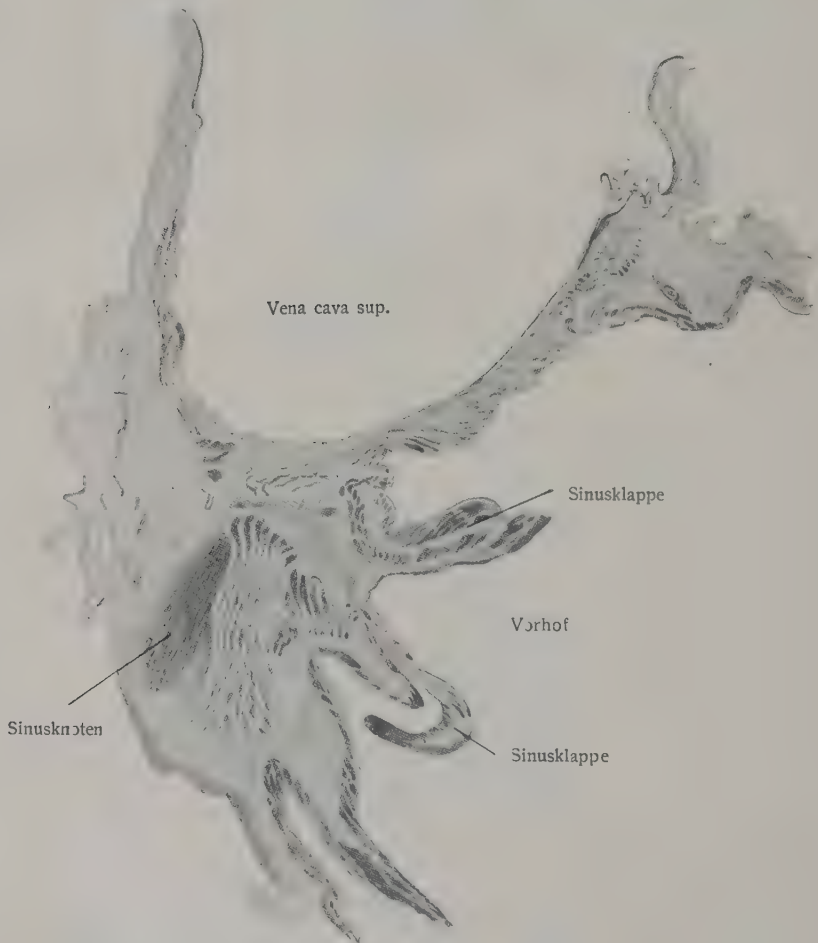
Atrioventrikuläre Verbindungsmuskulatur im Herzen der Eidechse. Beziehungen derselben zum Sinus und Bulbus.

schräggestellten Sinusklappen, zieht sich längs der Basis der linken Klappe zwischen ihr und dem Spatium intersepto-valvulare entlang und geht in einen isolierten, außerhalb der eigentlichen Vorhofsmuskulatur um den linken Ductus Cuvieri verlaufenden Muskelstrang über, der mit der Muskulatur des Auricularkanals in Verbindung steht. Dieser Verbindungsstrang weist schon bei höheren Reptilien (Krokodil, Alligator) eine Unterbrechung auf, u. zw. an der Stelle, wo sich das Sinusseptum entwickelt und der linke Ductus Cuvieri einmündet. Bei einigen Reptilien, z. B. Iguana, ist diese Unterbrechung noch mehr oder weniger unvollständig. *Külbs* kann den Befund von spezifischem Gewebe an der sinoauriculären Grenze bei Amphibien und Reptilien nicht bestätigen,

sondern glaubt, daß die Verbindung der ersten Abschnitte dieser Herzen durch die Muskulatur der Sinusklappen an deren freien Rändern erfolge.

Der Atrioventrikulartrichter (s. Fig. 42) entspricht, wie erwähnt, im allgemeinen den Verhältnissen bei den Amphibien. Die Ausläufer desselben reichen aber verschieden weit nach unten, so daß man auf tieferen Querschnitten durch den Ventrikel nicht mehr an allen Stellen spezifisches Gewebe

Fig. 43.



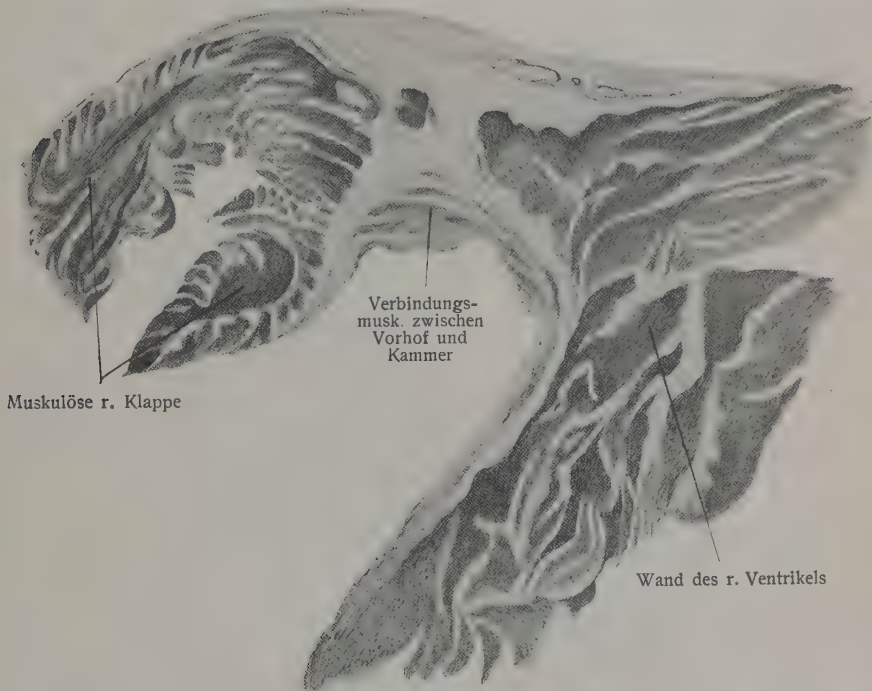
Sinusknotengewebe aus dem Herzen eines Seevogels.

findet, sondern nur noch in der linken Hälfte, welche durch die beginnende Kammerscheidewandbildung vom rechten Herzen in gewissem Sinne abgetrennt ist. Die Übergangsmuskulatur unterscheidet sich histologisch durch Fibrillenarmut und reichlicheres Bindegewebe von der übrigen Herzmuskulatur und wird mit zahlreichen Nerven und Blutgefäßen versorgt. Eine gewisse Sonderstellung nimmt nach *Mackenzies* Beobachtung das Herz des Krokodils ein, in welchem wir eine vollständig entwickelte Ventrikelscheidewand mit einer großen

Pars membranacea haben. Hier ist durch Entwicklung der häutigen lateralen Klappe des linken Ventrikels das spezifische Gewebe an der linksseitigen Atrio-ventrikulargrenze zurückgebildet und es besteht nur noch eine direkte spezifische Verbindung vom rechten Vorhof in den rechten Ventrikel.

Über die spezifische Muskulatur in den Herzen der Vögel gehen die Meinungen noch weit auseinander. Über die sinoauriculäre Verbindung gibt *Mackenzie* an, daß sie nicht in ähnlicher Weise wie bei den übrigen Wirbeltieren bestehe, sondern nur aus kleinen neuromuskulären versprengten Inseln

Fig. 44.



Atrioventrikuläre Verbindungsmuskulatur aus dem rechten Ventrikel des Vogelherzens.

in der Grenzfurche zwischen Sinus und Vorhof an der Einmündungsstelle der Cava superior gebildet werde; auch das in der Nähe des Vestibulum gelegene sinoauriculäre Ganglion sei wenig ausgebildet. Neuerdings aber hat *Mackenzie* bei einem Seevogel (s. Fig. 43) einen wohlausgebildeten Sinusknoten spezifischer Struktur zwischen Vena cava superior und inferior an der Basis der Klappen nachgewiesen.

Külbs beschreibt in den Sinusklappen neben gewöhnlicher quergestreifter Muskulatur subendokardiale, große blasse, protoplasmareiche Zellen, über deren Bedeutung er noch nichts Sicheres aussagen kann. Die sinoatriale Verbindung wird aber nach ihm wie bei den Reptilien durch die Klappenmuskulatur an deren freiem Rande bewerkstelligt.

Über das atrioventrikuläre Verbindungssystem hat schon *Tawara* am Taubenherzen bestimmte Befunde erhoben. Er beschreibt typische *Purkinjesche* Fäden als Endausbreitungen des Systems vorwiegend subendokardial, aber auch längs der intramuskulären Gefäße, und schließt daraus, daß auch ein Atrioventrikularbündel bestehen müsse. Auch *Kölbs* bestätigt den (schon von *Obermeier* und *Hoffmann* erhobenen) Befund von *Purkinjeschen* Fäden als Endausbreitungen des atrioventrikulären Systems in den Ventrikeln. Im übrigen besteht nach ihm eine muskuläre Verbindung von wenig spezifischer Struktur

Fig. 45.

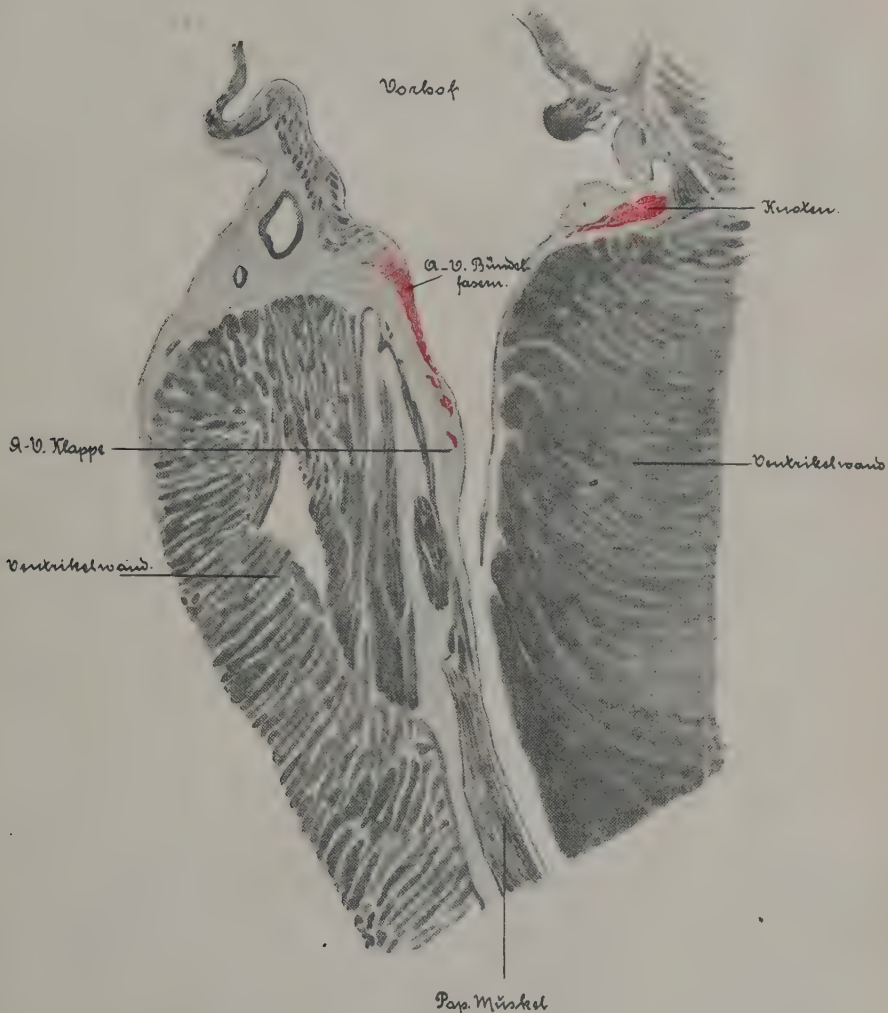


Sinusknoten im rechten Vorhof des Ameiseniegels.

zwischen Vorhöfen und Ventrikeln. Diese setzt sich aus zwei Strängen an der Hinterwand des Herzens zusammen, einem zapfenförmigen linken und einem halbrinnenförmigen rechten, welche oberhalb der Ventrikelscheidewand in einen dünnen dritten, in das Vorhofseptum ziehenden Fortsatz auslaufen, der dem *Hisschen* Bündel entsprechen soll. *Keith* und *Flack* erwähnen nur in Kürze, daß die auriculoventrikuläre Verbindung im Vogelherzen verhältnismäßig breit und nur an der Basis des Interauricularseptums zu finden sei. Wesentlich anders sind *Mackenzies* Untersuchungsergebnisse am Vogelherzen. Nach ihm findet man nur an der Hinterseite des rechten Herzens (s. Fig. 44) in der Nähe der Einmündungsstelle der Vena cava superior sinistra ein schmales Bündel gewöhnlicher Herzmuskulatur vom rechten Vorhof zum rechten

Ventrikel ziehen, ähnlich wie es vorher beim Krokodil beschrieben wurde, während keine direkten Fasern zum linken Ventrikel gehen sollen. Die von *Tawara* erwähnten *Purkinjeschen* Fäden bestätigt er, spricht ihnen aber keine Bedeutung als Verbindungssystem zu.

Fig. 46.



Atrio-ventrikuläre Verbindungsmuskulatur aus dem Herzen des Ameisenigels.

Als einen den Vögeln eigentümlichen Befund erwähnt *Mackenzie* eigenartige, Tastkörperchen ähnliche, mit den Nerven in Verbindung stehende Gebilde an der Wurzel von Aorta und Pulmonalis, die er einmal auch an der Cava superior beobachten konnte. Über ihre Bedeutung ist noch nichts Bestimmtes zu sagen. *Mackenzie* glaubt, in ihnen eventuell ein Koordinations-system für das Vogelherz vermuten zu können.

Mackenzie hebt vielleicht mit Recht hervor, daß Amphibien und Vögel eine besondere Stellung in der Entwicklungsreihe einnehmen, was sich auch in der Anatomie ihrer spezifischen Muskelsysteme kundtut. Ich selbst habe ja im vorhergehenden schon auf besondere Eigentümlichkeiten gerade des Vogelerzens hingewiesen und halte die weitere Erforschung gerade dieses Herzens für besonders wichtig.

Die weitgehendste Konzentration der spezifischen Muskelsysteme weisen die Säugetiere und der Mensch auf. Zwar zeigen die Herzen, wie z. B. von *Echidna* (s. Fig. 45) im Bau der spezifischen Muskelsysteme noch Anklänge an die Herzen niederer Wirbeltiere auf. Auch sollen bei *Echidna* (s. Fig. 46) z. B. außer dem wohlausgebildeten typischen Verbindungsbündel an der Atrioventrikulargrenze noch direkt vom Vorhofsknoten absteigende spezifische Muskelzüge bestehen, welche als Reste des ringförmigen Auricularkanales an vorhergehende Stufen erinnern (*Keith, Mackenzie*). Ob ähnliche, für das Rattenherz angegebene besondere Muskelzüge ein tatsächlicher Befund sind, erscheint mir noch nicht genügend bewiesen. Im übrigen ist bei den Säugetieren der Haupttypus in der Anordnung der spezifischen Muskelsysteme derselbe wie er beim Menschenherzen beschrieben worden ist. Es bestehen zwar gewisse Eigentümlichkeiten, die, wie ich früher betont habe, für den Sinusknoten so charakteristisch sein können, daß man annähernd die Tiergattung nach ihnen bestimmen kann. Auf den besonderen Bau des Reizleitungssystems im Huftierherzen ist schon von *Tawara* von vornherein aufmerksam gemacht worden. Diese Besonderheiten, welche sich zum Teil auf histologischem Gebiet bewegen, ändern aber prinzipiell nichts an der Gleichartigkeit in der Lage und Anordnung der spezifischen Muskelsysteme mit denen des menschlichen Herzens, so daß von Einzelbeschreibung abgesehen werden kann.

Literatur: *E. Ackerknecht*, Die Papillarmuskeln des Herzens. A. f. Anat. u. Phys., Anat. Abt. 1918, S. 63; Die Papillarmuskeln des Herzens. Wr. tierärztl. Mon. 1919, H. 10/11. — *J. Arnold*, Über feinere Strukturen und die Anordnung des Glycogens in den Muskelfaserarten des Warmblüterherzens. Sitzungsber. d. Heidelberger Akad. d. Wiss. 1909. — *Aschoff-Tawara*, Die heutige Lehre von den pathologisch-anatomischen Grundlagen der Herzschwäche. Jena 1906. — *L. Aschoff*, Referat über die Herzstörungen in ihren Beziehungen zu den spezifischen Muskelsystemen des Herzens. Verh. d. D. Path. Ges. 1910; Sitzungsber. d. Freiburger Med. Ges.; D. med. Woch. 1912, H. 25; Die Beziehungen des Reizleitungssystems zur Anordnung der venösen Klappen und zugehörigen Papillarmuskeln. Ber. d. Naturf. Ges. Freiburg 1913, 20. — *G. Barkahn*, Zur Frage der Reizleitung im Säugetierherzen. Diss. München 1914. — *L. Baumgarten*, De mechanismo quo valvulae venosae cordis clauduntur. Diss. Marburg 1843. — *Behle*, Allgemeine Anatomie und Physiologie des Nervensystems. Leipzig 1903. — *Beneke*, Herzbildung und Herzmißbildung als Funktionen primärer Blutstromformen. Beitr. z. Anat. LXVII; Zur Frage der Entstehung der Herzmißbildungen. M. med. Woch. 1921, S. 189. — *F. Bidder*, Über funktionell verschiedene und räumlich getrennte Nervencentren im Froschherzen. A. f. Anat. u. Phys. 1852, S. 163; Die Endigungsweise der Herzzweige des Nervus vagus beim Frosch. A. f. Anat. u. Phys. 1868, S. 1. — *G. Born*, Über die Bildung der Klappen, Ostien und Scheidewände im Säugetierherzen. Anat. Anz. 1888, III, S. 606. — *F. Bottazzi*,

Ricerche sulla muscolatura cardiale dell' Emys europaea. Zt. f. Phys. 1907, VI, S. 140. — *K. Brandenburg*, Über die neueren Befunde am Herzen und ihre Beziehungen zur Herzpathologie. Med. Kl. 1909, 8 u. 9. — *Brandenburg u. Hoffmann*, Wo entstehen die normalen Bewegungsreize im Warmblüterherzen. Med. Kl. 1912, 1. — *L. Braun*, Über Herzbewegung und Herzstoß. Fischer, Jena 1898. — *W. Ceelen*, Das Reizleitungssystem des Herzens. Berl. kl. Woch. 1919, XXII. — *E. Cohn*, The Function of the Sino-Auricular Node. A. of Int. Med. 1911; On the Differences in the Effects of Stimulation of the Two Vagus nerves on rate and Conduction of the Dogs. Heart. J. of exp. Med. 1912, XVI, S. 6. — *Cohn u. Keller*, Observations on the Functions of the Sino-Auricular Node in the Dog. Heart 1912, III, IV. — *Cohn, Kessel u. Mason*, Observation on the Functions on the Sino-Auricular Node in the Dog. Heart 1912, III, IV. — *Cohn u. Mason*, Further Observations on the Function of the Sino-Auricular Node. Heart 1912, III, IV; Auricular Tachykardia with a Consideration of Certain Differences between the two Vagi. J. of exp. Med. 1917, XV, 1. — *H. K. Corning*, Lehrbuch der topographischen Anatomie. Wiesbaden 1919. — *E. v. Cyon*, Myogene Irrungen. Pflügers A. 1906, CXIII, S. 111. — *Dogiel u. Archangelsky*, Der bewegungshemmende und der motorische Nervenapparat des Herzens. A. f. Phys. 1906, CXIII, S. 1. — *I. Dogiel*, Einige Daten der Anatomie des Frosch- und Schildkrötenherzens. A. f. mikr. Anat. 1907, LXX, S. 780; Die Anordnung und Funktion der Nervenzellen des Herzens der Menschen und der Tiere u. s. w. A. f. Phys. 1914, CLV, S. 351. — *A. Eckstein*, Zur funktionellen Differenzierung der Herzteile. A. f. Phys. 1914, CLVII; Zur Lehre von den atrioventrikulären Koordinationsstörungen. A. f. kl. Med. CXXX, H. 1 u. 2; Experimentelle Untersuchungen über die funktionelle Differenzierung im Säugetierherzen u. s. w. Diss. Freiburg 1915. — *Einthoven u. Wieringa*, Ungleichartige Vaguswirkungen auf das Herz, elektrokardiographisch untersucht. A. f. Phys. CIL, S. 48. — *I. Engel*, Beiträge zur normalen und pathologischen Histologie des Atrioventrikulärbündels. B. z. path. Anat. 1910, 48. — *Engelmann*, Das Herz und seine Tätigkeit im Lichte neuerer Forschung. Festschr. Berlin 1903. — *J. Erlanger*, Observation on the Physiology of Purkinje Tissue. Am. J. of Phys. 1912, XXX, 5; The Localization of Impulse Initiation and Conduction in the Heart. A. of Int. Med. 1913, XI. — *G. Eversbusch*, Anatomische und histologische Untersuchungen über die Beziehungen der Vorhofsganglien zu dem Reizleitungssystem des Katzenherzens. D. A. f. kl. Med. 1916, CXX. — *Fahr*, Zur Frage der Ganglienzellen im menschlichen Herzen. Zbl. f. Herzkr. 1910, 5 u. 6; Neuere Forschungen auf dem Gebiet der Anatomie und Pathologie des Herzmuskels. Erg. d. wiss. Med. 1910, 9. — *G. Fahr*, An analysis of the spread of the excitation wave in the human ventricle. A. of int. Med. 1920, XXV, Nr. 2. — *M. Flack*, An Investigation of the Sino-Auricular Node of the Mammalian Heart. J. of Phys. 1910, XLI; L'ecrasement du noeud sino-auriculaire etc. Le rythme cardiaque de l'oiseau. La fonction du noeud auriculaire. A. int. de Phys. 1911, XI. — *L. de Gaetani*, Il fascio atrioventricolare nell' uomo. Anat. Anz. 1911, 39; Ricerca Macroscopia del fascio Atrioventricolare. Path. 1912, IV, Nr. 84. — *Ganter u. Zahn*, Experimentelle Untersuchungen am Säugetierherzen über Reizbildung und Reizleitung in ihrer Beziehung zum spezifischen Muskelgewebe. Pflügers A. 1912, CXIV; Experimentelle Untersuchungen am Säugetierherzen über Reizbildung und Reizleitung. D. med. Woch. 1912, XXV; Über die Beziehungen der Nervi vagi zu Sinusknoten und Atrioventrikulärknoten. Pflügers A. 1913, CLIV; Zur Lokalisation der automatischen Kammercentren. Zbl. f. Phys. XXVII, Nr. 4; Über Reizbildung und Reizleitung im Säugetierherzen in ihrer Beziehung zum spezifischen Muskelgewebe. Zbl. f. Phys. XXV, Nr. 18. — *W. E. Garrey*, Effects of the Vagi upon Heart Block and Ventricular Rate. Am. j. of Phys. 1912, XXX, 6. — *R. Geigel*, Die Wirkung der Papillarmuskeln. M. med. Woch. 1919, 23. — *A. Gibson*, On the primitive Muscle Tissue of the human Heart. Br. med. j. 16. Jan. 1919. — *W. Haas*, Über einen weiteren Fall von Netzbildung im rechten Vorhof u. s. w. Diss. Heidelberg 1916. — *I. L. de Heer*, Die Dynamik des Säugetierherzens im

Kreislauf. Pflügers A. 1912, CXLVIII. — *M. Heitler*, Der Bau der Innenfläche der rechten Herzkammer beim Menschen. *Wr. kl. Woch.* 1917, 8. — *H. E. Hering*, Nachweis, daß die Verzögerung der Erregungsüberleitung zwischen Vorhof und Kammer des Säugetierherzens im Tawaraschen Knoten erfolgt. Pflügers A. CXXXI; Die Funktionsprüfung der Herzvagi beim Menschen. *M. med. Woch.* 1910, H. 37; Die Herzstörungen in ihren Beziehungen zu den spez. Muskelsystemen des Herzens. (Die Reizbildungsstörungen und Reizleitungsstörungen des Herzens). *Verh. d. D. Path. Ges.* 1910; Die neuromyogene Herztätigkeit. *Zbl. f. Herz- u. Gefäßkrh.* 4. Jahrg., H. 3; Lokalisation im Herzen. *Wr. kl. Woch.* 25. Jahrg., H. 40; Die Reizbildungsstellen der supraventrikulären Abschnitte des Säugetierherzens und des menschlichen Herzens. Pflügers A. 1912, CXLVIII. — *F. Hinze*, Über den Verschuß des For. ovale des Herzens. *Schade*, Berlin 1893. — *B. Hofmann*, Beiträge zur Lehre von der Herzzinnervation. Pflügers A. 1898, LXXII. — *G. Hubert*, Das Reizleitungssystem des Herzens. *M. med. Woch.* 1920, H. 18 u. 19. — *A. Jarisch*, Zur pathologischen Anatomie des Pulsus irregularis perpetuus. *A. f. kl. Med.* 1914, CXV. — *M. Imchanitzky*, Die nervöse Koordination der Vorhöfe und der Kammer des Eidechsenherzens. *A. f. Anat. u. Phys.* 1909, S. 117. — *A. Keith*, The Evolution and Action of certain muscular Structures of the Heart. *Lanc.* 1904; An account of the Structures concerned in the Production of the Jugular Pulse. *J. of Anat. and Phys.* 1907, XLII. — *E. Kirch*, Anatomische Untersuchungen über Größe und Gestalt des normalen und pathologisch veränderten menschlichen Herzens. *Sitz.-Ber. d. physikal.-med. Ges. Würzburg* 1920; Über gesetzmäßige Verschiebungen der inneren Größenverhältnisse des normalen und pathologisch veränderten menschlichen Herzens. *Zt. f. angew. Anat.* 7, H. 5/6. — *W. Koch*, Neuere Befunde am Sinusknoten der Huftiere. *D. med. Woch.* 1910, H. 14; Welche Bedeutung kommt dem Sinusknoten zu? *Med. Kl.* 1911, H. 12; Zur Entwicklung und Topographie der spez. Muskelsysteme im Säugetierherzen. *Med. Kl.* 1913, H. 2; Über die Bedeutung der Reizbildungsstellen (kardio-motorischen Centren) des rechten Vorhofes beim Säugetierherzen. Pflügers A. 1913, CLI; Die Orte der Reizbildung und Reizleitung im menschlichen Herzen. *Zt. f. exp. Path.* 1914, 16; *Berl. kl. Woch.* 1919, S. 501. — *Köster u. Tschermak*, Über Ursprung und Endigung d. N. depressor und N. laryng. sup. beim Kaninchen. *A. f. Anat. u. Phys. Suppl.* 1902. — *F. Külbs*, Über das Reizleitungssystem im Eidechsenherzen. *Verh. d. D. Kongr. f. inn. Med. Wiesbaden* 1910; Über das Reizleitungssystem bei Amphibien, Reptilien und Vögeln. *Zt. f. exp. Path.* 1912, 10; Vergleichende Anatomie und Histologie des Hisschen Bündels. *Med. Kl.* 1912, H. 31; Über das Reizleitungssystem im Herzen des Fisches. *Char.-Ann.* 1913, 37; Das Reizleitungssystem im Herzen. *Handb. d. inn. Med.* 1913, 2; Das Reizleitungssystem des Herzens. *Int. Kongr. f. Med. London* 1913. — *F. Kraus u. G. Nicolai*, Über die funktionelle Solidarität der beiden Herzhälften. *D. med. Woch.* 1908, 1. — *L. Krehl*, Über nervöse Herzerkrankungen und den Begriff der Herzschwäche. *M. med. Woch.* 1906, 48. — *H. Kronecker u. F. Schmey*, Das Koordinationszentrum der Herzkammerbewegung. *Sitz.-Ber. d. K. Pr. Akad. d. Wiss. Berlin* 1884. — *Y. Kuno u. E. Th. v. Brücke*, Der funktionelle Nachweis des Nervus depressor beim Frosch. Pflügers A. 1914, CLVII. — *W. Lange*, Die anatomischen Grundlagen für eine myogene Theorie des Herzschlages. *A. f. mikr. Anat.* 1914, LXXXIV, Abt. 1. — *H. Laurenz*, Die atrioventrikuläre Erregungsleitung im Reptilienherzen und ihre Störungen. Pflügers A. 1913, CL; The atrio-ventricular Connection in the Reptiles. *Anat. Rec.* 1913, VII, Nr. 8. — *Th. Lewis*, Galvanometrie curves Yielded by Cardiac Beats. The Pacemaker of the Heart. *Heart* 1910, II; The Pacemaker of the mammalian Heart. *Int. Kongr. of Med. London* 1913, Sekt. 3. — *Lewis u. Oppenheimer*, The site of origin of the mammalian Heart-Beat; the pacemaker in the dog. *Heart* 1910, II. — *E. Leyden*, Zwei neue Fälle von ungleichzeitiger Contraction beider Herzkammern. *Virchows A.* LXV. — *Lhamon*, The seath of the sino-ventricular bundle. *Am. J. of Anat.* 1912, XIII. — *Lim Boon Keng*, *J. of Phys.* 1893, XIV. — *J. Loew*, Die funktionelle Be-

deutung der einzelnen Herzabschnitte. Zbl. f. Herzkr. 1910, 12; Beiträge zur Pathologie des Reizleitungssystems. B. z. path. Anat. 1910, 49. — *E. Ludwig*, Anatomische Untersuchungen des Nervus depressor bei Herzhypertrophie. Berl. kl. W. 1912, 31. — *J. Mackenzie*, Zur Frage eines Koordinationssystems im Herzen. Verh. d. D. Path. Ges. Erlangen 1910; The Excitatory and Connecting Muskularsystem of the Heart. 17. Int. Kong. of Med. London 1913. — *Mackenzie u. Robertson*, Recent Researches on the Anatomy of the Birds Heart. Br. Med. J. 1910. — *E. Magnus-Alsleben*, Zur Kenntnis der sog. abnormen Sehnenfäden im Herzen. Zbl. f. allg. Path. 1906, 17; Zum Mechanismus der Mitralklappe. A. f. exp. Path. u. Phar. 1907, LVII; Zur Kenntnis der Arrhythmia perpetua. A. f. kl. Med. 1909, XCVI; Über die Entstehung der Herzreize in den Vorhöfen. A. f. exp. Path. u. Pharm. 1911, LXIV. — *P. Mall*, Bifid Apex of the human Heart. Anat. Rec. 1912, VI; Aneurysm of the Membranous Septum Projecting into the Right Antrum. Anat. Rec. 1912, VI, Nr. 7. — *E. Mangold*, Elektrographische Untersuchung des Erregungsverlaufes im Vogelherzen. Pflügers A. CLXXV; Erregungsursprung und -leitung im Herzen der Vögel und niederen Wirbeltiere. D. med. Woch. 1914, 20; Die Erregungsleitung im Wirbeltierherzen. S. anat. Vortr. 1914, H. 25. — *Mangold u. Kato*, Über den Erregungsursprung im Vogelherzen. Pflügers A. CLVII. — *F. Merkel*, Handbuch der topographischen Anatomie. Braunschweig 1899, 2. — *S. Mollier*, Die erste Anlage des Herzens. Hertwigs Handb. d. vergl. u. exp. Entw.-Lehre 1906, 1. — *I. Mönckeberg*, Beiträge zur normalen und pathologischen Anatomie des Herzens. Verh. d. D. Path. Ges. 1910; Herzschwäche und plötzlicher Herztod als Folge von Erkrankungen des Atrioventrikularsystems. Erg. d. Path. 1910, 14. Jahrg.; Herzmißbildungen. Fischer, Jena 1912; Die anatomischen Grundlagen der normalen und pathologischen Herztätigkeit. Steinkopf, Leipzig 1919; Das spezifische Muskelsystem im menschlichen Herzen. Erg. d. Path. 1921. — *G. Monrad-Krohn*, Den atrio-ventriculäre Muskel-Forbindelse i Menneskehjertet. Kristiania 1911. — *V. Moorhouse*, The Relationship of the sino-auricular node to auricular Rhythmicity. Am. j. of med. Phys. 1912, XXX. — *E. Mühsam*, Zur Lehre vom Bau und der Bedeutung des menschlichen Herzens im klassischen Altertum. Janus 1910. — *L. R. Müller*, Studien über die Anatomie und Histologie des sympathischen Grenzstranges u. s. w. Verh. d. Kongr. f. inn. Med. Wiesbaden 1909; Beiträge zur Anatomie, Histologie und Physiologie des Nervus vagus u. s. w. D. A. f. kl. Med. 1910, CI. — *M. Nagayo*, Über den Glykogengehalt des Reizleitungssystems des Säugetierherzens. Verh. d. D. Path. Ges. 1908; Der Glykogenbefund des Sinusknotens. Mitt. d. med. Ges. Tokio 1910; Pathologisch-anatomischer Beitrag zum Adams-Stokesschen Symptomenkomplex. Zt. f. kl. Med. 67. — *I. Nakano*, Zur vergleichenden Physiologie des Hisschen Bündels. Die atrioventriculäre Erregungsleitung im Amphibienherzen. Pflügers A. 1913, CLIV. — *E. Neuber*, Die Gitterfasern des Herzens. B. z. path. Anat. 1912, LIV. — *G. Nicolai*, Die Mechanik des Kreislaufs. Nagels Handb. d. Phys. d. M. 1909, 1; Die tatsächlichen Grundlagen einer myogenen Theorie des Herzschlages. A. f. Anat. u. Phys. 1910; Myogen oder Neurogen? Erg. d. w. Med.; Ablauf der Erregungsleitung im Säugetierherzen. Zbl. f. Phys. 21, Nr. 20. — *S. Oinuma*, Über den Einfluß des Vagus und des Sympathicus auf die Tonuschwankungen der Vorhöfe des Schildkrötenherzens. Pflügers A. 1910, CXXXIII. — *B. S. u. A. Oppenheimer*, Routine Method of Opening the Heart with Conservation of the Bundle of His and the Sino-Auricular Node. J. of Am. ass. 1912, LIX; Nerve fibrils in the Sino-Auricular Node. Proc. of New York Path.-Soc. 1912, XII; Nerve fibrils in the Sino-Auricular Node. J. of exp. Med. 1912, XVI, Nr. 5. — *Orsós-Pécs*, Ein intramuraler Sehnenstrang des rechten Vorhofes. Verh. d. D. Path. Ges. 1910. — *H. Raaflaub*, Über Hemmungswirkungen am Herzen und die Beziehungen zwischen Muscarinvergiftung und Vaguserregung. Zt. f. Biol. 1914, 63, H. 11 u. 12. — *I. Rainer*, Le système lymphatique du coeur. I. mémoire. Ann. de Biol. 1911, 1; dsogl. II. mémoire. — *E. Reh-fisch*, Die Ursprungsstelle der Ventrikelcontraction. Berl. kl. Woch. 1907, 34. Remak,

Neurologische Erläuterungen. Müllers A. 1844. — *Renon* u. *E. Geraudel*, Comment Examiner le Faisceau de His. 17. Int. Kongr. of Med. London 1913. — *R. Retzer*, The „Moderator Band“ and its Relation to the Papillary Muscles u. s. w. J. Hopk. H. Bull. 1909, XX; The Anatomy of the Heart of the Indian Elephant Anat. Rec. 1912, VI, Nr. 3. — *G. Riebold*, Reizleitungsstörungen zwischen der Bildungsstätte der Ursprungsreize der Herzcontractionen im Sinus der oberen Hohlvene und dem Vorhof. Zt. f. kl. Med. 73. — *Robertson*, The comparative Anatomy of the Bulbus cordis u. s. w. J. of Path. 1913, XVIII. — *P. Roias*, Das Glykogen in dem Vorhofkammerleitungssystem. Sem. méd. 27. Jahrg., 1920, 18. — *E. Romberg*, Über die Bewegung des Herzens. Berl. kl. Woch. 1893, 12. — *C. Röse*, Zur Entwicklungsgeschichte des Säugetierherzens. Morph. Jahrb. 1889, 15. — *C. I. Rothberger*, Physiologie des Kreislaufes. Handb. d. allg. Path. Diagnostik u. Therapie d. Herz- u. Gefäßkrkh. 1913, 2. — *Rothberger* u. *Winterberg*, Über die Beziehungen der Herznerven zur atrioventrikulären Automatie. Pflügers A. CXXXV; Über die Beziehungen der Herznerven zur automatischen Reizerzeugung und zum plötzlichen Herztode. Pflügers A. 1911, CXLI; Zur Diagnose der einseitigen Blockierung der Reizleitung in den Tawaraschen Schenkeln. Zbl. f. Herz- u. Gefäßkrkh. 1913, H. 9. — *P. Schaefer*, Über helle und trübe Muskelfasern im menschlichen Herzen unter besonderer Berücksichtigung der speziellen Muskelsysteme des Herzens. Abh. d. Senkenbergischen Naturf. Ges. 1912, XXXI. — *I. Scherhey*, Zur Lehre von der Herzinnervation. A. f. Anat. u. Phys. 1880. — *H. Schütz*, Einige Fälle von Entwicklungsanomalie der Vena cava sup (Persistenz des linken Ductus Cuvieri.) Virchows A. 1914, CCXVI. — *Shiro Sato*, Über die Entwicklung der Atrioventrikularklappen und der Pars membranacea unter Berücksichtigung zugehöriger Herzmißbildungen. Anat. H. 1914, L. — *A. Spritzer*, Über die Ursache und den Mechanismus der Zweiteilung des Wirbeltierherzens. A. f. Entw.-Mech. 1919, XLV u. 1921, XLVII. — *H. Straub*, Der Druckablauf in den Herzhöhlen. Pflügers A. 1911, CXLIH. — *I. Tandler*, Die Entwicklungsgeschichte des Herzens. Handb. d. Entw. d. M. von Keibel u. Mall, 1911, 2; Anatomie des Herzens. Fischer, Jena 1913. — *S. Tawara*, Das Reizleitungssystem des Säugetierherzens mit Vorwort von L. Aschoff. Fischer, Jena 1906. — *Ch. Thorel*, Über die supraventrikulären Abschnitte des sog. Reizleitungssystems. Verh. d. D. Path. Ges. 1910. — *I. Trautwein*, Mechanismus des Herzstoßes. Virchows A. 1912, CCIX. — *Trendelenburg* u. *Cohn*, Zur Physiologie des Übergangsbündels am Säugetierherzen. Zbl. f. Phys. 1909, 23. — *Tumänzew* u. *Dogiel*, Zur Lehre über das Nervensystem des Herzens. A. f. mikr. Anat. 1890, XXXVI. — *A. Valedinsky*, Einige Ergänzungen zur Frage nach der Gegenwart und der Verteilung der Nervenganglien in den Herzkammern einiger Säugetiere und des Menschen. Anat. Anz. 37. — *v. d. Velden*, Versuche über die Saugwirkung des Herzens. Zt. f. exp. Path. 1906, 3. — *Th. Volkhardt*, Über den Eintritt der Totenstarre am menschlichen Herzen. B. z. path. Anat. 1916, 62. — *H. Weber*, Das Gefäß- und Nervensystem. Hildebrands Handb. d. Anat. d. M. 1831, 3. — *F. N. Winkler*, Beiträge zur Kenntnis der Herzmuskulatur. A. f. Anat. u. Phys. 1865. — *M. R. Wybauw*, Sur le point d'origine de la systole cardiaque dans l'oreillette droite. A. int. d. Phys. 1910, X; De l'origine de la systole des oreillettes au niveau de l'embouchure de la veine cave supérieure chez les mammifères. Bull. de la Soc. R. d. Sc. méd. Brüssel 1910, V. — *A. Zahn*, Experimentelle Untersuchungen über Reizbildung und Reizleitung im Atrioventrikularknoten. Pflügers A. 1913, CLI; Experimentelle Untersuchungen über Reizbildung im Atrioventrikularknoten und Sinus coronarius. Zbl. f. Phys. 26, Nr. 12. — Nicht angeführt ist die Literatur, welche in dem Literaturverzeichnis von *Tandlers* „Anatomie des Herzens“ (Fischer, Jena 1913) enthalten ist.

15.B.6.
Der funktionelle Bau des mensch1922
Countway Library BEF2646



3 2044 045 726 957

15.B.6.
Der funktionelle Bau des menschl. 1922
Countway Library BEF2646



3 2044 045 726 957